



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE POSGRADO EN HISTORIA DEL ARTE
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ESTÉTICAS
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD
MORELIA

ENTIDADES ROBÓTICAS CON CEREBRO HUMANO VIVO
LOS HYBROTS DE GUY BEN-ARY, BIOTECNOLOGÍA Y NEURODERECHOS

ENSAYO ACADÉMICO
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN HISTORIA DEL ARTE

PRESENTA:
CASTELLANOS PÉREZ ROSA MARÍA

TUTORA PRINCIPAL
ELSA ARROYO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ESTÉTICAS

TUTORAS
GEMMA ARGÜELLO MANRESA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DIDANWY KENT TREJO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

Agradecimientos	2
Introducción	3
• Guy Ben-Ary, SymbioticA y el Tissue Culture & Art Project	7
1. ¿De qué se habla con el término <i>bioarte</i>?	11
• Categorización de los trabajos de Ben-Ary	15
2. Hybrots: entidades robóticas controladas por un cerebro biológico vivo	16
• Animat: una animación de ratón controlada por neuronas vivas	17
• Koala: un cuerpo físico para el cultivo neuronal	20
3. Crea al artista, no la obra de arte	21
• Un hybrot artista en el laboratorio: <i>MEART - The semi living artist</i>	22
• Un hybrot para registrar instantes: <i>Silent Barrage</i>	24
• Un hybrot análogo para crear música: <i>cellF</i>	26
• iPSC: una tecnología para forzar a la vida a ser lo que no es	31
• ¿Qué tan artistas son estos hybrots?	33
4. El derecho humano a la no invasión neuronal	35
Conclusiones	48
Fuentes consultadas	51
Figuras	54

Agradecimientos

A la Dra. Elsa Aroyo Lemus por su inigualable apoyo para el desarrollo de este trabajo, su lectura atenta, su genuino interés por acercarse a un tema que suele resultar lejano al estudio del arte contemporáneo canónico, el tiempo que le ha dedicado a la lectura y comentario de los borradores, la conversación y escucha atenta durante las sesiones de tutoría han sido fundamentales para consolidar las líneas de pensamiento que dieron origen a este esfuerzo. A las Dras. Gemma Argüello y Didanwy Kent, por el acompañamiento en el proceso de pensamiento y escritura. A la Dra. Karla Jasso por poner en mi horizonte a Guy Ben-Ary.

Al equipo de SymbioticA, Oron, Ionat, Chris y Tarsh, por su amable acogida en el Laboratorio, por las conversaciones y por facilitar el encuentro con otras personas dedicadas a este tema. A Stuart Hodgetts, Nathan Thompson y Yun Lam, por el grato intercambio de ideas. Especialmente, a Guy Ben-Ary por el entusiasta recibimiento en su laboratorio, las conversaciones y los manjares preparados; y a su familia, por abrirme las puertas de su casa.

A mi “pá y má”, por estar siempre, por su esfuerzo, por sus abrazos, su escucha, sus risas y su comida, por alentarme a ser un *pájaro libre, de libre vuelo*. A Fel, por aquellas charlas en su casa y en el parque. A mis compañerxs Gonzalo, Mario, Cristina y Dante por las divagaciones y bebidas espirituosas en un vagón, un jardín y una que otra cantina.

Finalmente, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría, al Programa de Apoyo para los Estudios de Posgrado (PAEP) por el apoyo financiero para la estancia de investigación en SymbioticA, y a la Coordinación del Posgrado en Historia del Arte, por el eficiente apoyo en las cuestiones administrativas a lo largo del programa.

Entidades robóticas con cerebro biológico humano vivo

Los hybrots de Guy Ben-Ary, biotecnología y Neuroderechos

Cada hombre puede, si así lo desea, ser escultor de su propio cerebro.

Santiago Ramón y Cajal

Este hombre futuro que los científicos fabricarán antes de un siglo, según afirman, parece estar poseído por una rebelión contra la existencia humana tal como se nos ha dado, gratuito don que no procede de ninguna parte (materialmente hablando), que desea cambiar, por decirlo así, por algo hecho por él mismo. No hay razón para dudar de nuestra capacidad para lograr tal cambio, de la misma razón que tampoco existe para poner en duda nuestra actual capacidad de destruir toda la vida orgánica de la Tierra. La única cuestión que se plantea es si queremos o no emplear nuestros conocimientos científicos y técnicos en este sentido, y tal cuestión no puede decidirse por medios científicos; se trata de un problema político de primer orden y, por lo tanto, no cabe dejarlo a la decisión de los científicos o políticos profesionales.

Hannah Arendt, *La condición humana*.

Introducción

El bioartista Guy Ben-Ary cumplió su sueño de infancia el 4 de octubre de 2015, día en que ofreció su primer concierto de música experimental al lado de Darren Moore, percusionista y músico electrónico. La presentación se realizó en el Masonic Hall de Perth, Australia Occidental, y sería el inicio de una larga serie de conciertos que llevarían a Ben-Ary a vivir la experiencia de ser un *rockstar*. Durante los conciertos, Guy Ben-Ary improvisa sonidos a

través de *cellF*, un sintetizador análogo diseñado y construido por él mismo, en conjunto con Andrew Fitch, Douglas Bakkum, Mike Edell, Nathan Thompson, Stuart Hodgetts y el mismo Darren Moore, a dueto con la persona invitada a tocar con él, como lo fue Darren durante la premier. Mientras Darren ejecutaba sonidos con la batería y otros instrumentos, Guy lo hacía con el sintetizador, a la vez que caminaba alrededor extasiado por ver, escuchar y ejecutar su propio concierto en forma simultánea.

La frase “Guy Ben-Ary improvisa sonidos” es imprecisa: el sintetizador que emite los sonidos es controlado por la actividad eléctrica de un puñado de neuronas de Ben-Ary que se mantienen con vida en una incubadora dentro del propio sintetizador. También es imprecisa la expresión “neuronas de Ben-Ary”, porque se trataba de células nerviosas cultivadas en condiciones de laboratorio (*in vitro*) a partir de manipular genéticamente algunas células epiteliales (de la piel) del artista. Durante aquel concierto, el “cerebro de Ben-Ary” así creado era estimulado con la música interpretada por Darren Moore lo cual provocaba un impulso eléctrico como respuesta, mismo que era expresado como sonido a través del sintetizador. De este modo, el artista podía caminar en torno a *cellF* mientras éste “daba un concierto”, o podría incluso haber estado ausente o en una ubicación geográfica distinta, ya que el aparato funciona de manera independiente.

Además de *cellF*, Ben-Ary ha desarrollado otros dos *hybrots* como se denomina a estas entidades robóticas hibridadas con elementos biológicos vivos: *MEART - The Semi Living Artist* (2001) y *Silent Barrage* (2006). A través de sus obras, Ben-Ary busca llamar la atención fuera del ámbito científico en torno de posibilidades de manipulación a la vida misma que ofrecen las tecnologías científicas disponibles actualmente, ante las cuales es apremiante un diálogo público informado y crítico, capaz de orientar el curso de las

innovaciones actuales y futuras hacia la protección de los derechos humanos y no-humanos, así como hacia la conservación de la vida en todas sus dimensiones. ¿De qué manera lidiamos como sociedad ante las amenazas que suponen las biotecnologías capaces de cultivar *cerebros* humanos a partir de células de la piel o la pulpa dentaria? ¿Qué debemos hacer para orientar las aplicaciones de neurotecnologías capaces de hacer funcionar una red neuronal humana *in vitro* de forma análoga a lo que ocurre dentro del cerebro humano? ¿Qué hacemos ante las brechas de desigualdad que abrirán las aplicaciones bio y neurotecnológicas, cuando solo algunas personas privilegiadas puedan acceder a *inteligencias subrogadas*, como el caso de *cellF*, pero para tareas cotidianas?

En el presente texto he decidido enfocarme en la intersección entre los *hybrots* de Guy Ben-Ary y los neuroderechos apelando al interés del artista por trabajar específicamente con neuronas, las células que dan origen al fenómeno más enigmático para la ciencia humana: la conciencia. Esta elección responde también a un interés personal por explorar las producciones artísticas donde confluyen la ciencia y la biotecnología, analizándolas desde las perspectivas teóricas y metodológicas de la historia del arte para comprenderlas y explicarlas como productoras de conocimiento (allende la divulgación científica) con la experiencia estética como esencia.

Trazar el vínculo entre estos ejes resultó una tarea compleja durante todo el proceso de la investigación previo a la escritura de este texto. En su fase inicial busqué centrarme en la argumentación sobre la pertinencia de abordar el bioarte desde la historia del arte, sin embargo, la naturaleza del trabajo de Ben-Ary resultó tan cercana a mi interés por las neurociencias en general y sus aplicaciones en relación con la manipulación neuronal, en particular, que decidí enfocarme en el diálogo entre sus obras y este contexto de innovación.

Cuando durante el curso de la investigación supe sobre los neuroderechos intuí que aquel diálogo podría aportar a las reflexiones subyacentes a la legislación sobre nuestros derechos neuronales. La dificultad fue, entonces, encontrar las herramientas teóricas y metodológicas para trabajar desde la perspectiva de la historia del arte, mismas que espero superadas en el presente texto.

Además de las lecturas realizadas sobre las producciones del artista, un punto de inflexión para el proceso de escritura fue la estancia de investigación que realicé en SymbioticA, en la Universidad del Oeste de Australia, en donde Ben-Ary es colaborador de tiempo completo. El lugar, las personas, los intercambios de ideas durante cada día de estancia me permitieron desvelar múltiples niveles de análisis para abordar las obras que conforman este escrito. El entusiasmo con que recibieron en aquel distante lugar a una estudiante mexicana, que había realizado un viaje “tan largo” para llegar hasta allá, junto con el ambiente de creatividad, apertura y pensamiento que se respira en SymbioticA, fueron caldo de cultivo perfecto para las reflexiones suscitadas a mi regreso.

Paradójicamente, al volver a los espacios de seminario del posgrado, este ánimo de reflexiones compartidas se fue apagando, debido, en buena medida, a que el bioarte es un tópico poco estudiado no solo en la UNAM, sino, en general, en países de habla hispana. Carecer de compañeros y compañeras con quienes entretejer las lecturas del posgrado con el tema de mi ensayo, así como la ausencia de docentes e investigadores en historia del arte cercanos al bioarte, la fisiología celular o las biotecnologías, resultó un obstáculo cognitivo y anémico a lo largo de toda la maestría. A pesar de ello, considero que los “diálogos” sostenidos con quienes escribieron las fuentes consultadas, así como las ulteriores

conversaciones con mi ahora tutora, la Dra. Elsa Arroyo, me han permitido pensar en colectivo. Espero contagiar de ello a las lectoras y lectores las páginas siguientes.

Guy Ben-Ary, SymbioticA y el Tissue Culture & Art Project

SymbioticA es el primer laboratorio para artes biológicas en el mundo, abrió sus puertas en 1996 en la Escuela de Anatomía y Fisiología de la Universidad del Oeste de Australia (UWA), en la ciudad de Perth, encabezado desde entonces por Ionat Zurr y Oron Catts, pioneros en el ámbito del bioarte con el colectivo Tissue Culture & Art (TC&A), fundado en 1995. Cerca del año 2000, Guy Ben-Ary viajó por primera vez a Perth para visitar a su amigo Oron Catts. Las conversaciones que sostuvieron en torno a los proyectos en que trabajaba el colectivo TC&A en aquel momento,¹ en conjunción con las posibilidades creativas que ofrecía el incipiente laboratorio, llevaron a Ben-Ary a cambiar su residencia para instalarse de manera definitiva en esta ciudad del oeste australiano, en donde combina sus tareas como responsable de los microscopios de la universidad con su producción artística.

Es en SymbioticA donde Ben-Ary ha desarrollado toda su obra, como residente primero, y como colaborador de tiempo completo después, siempre con células vivas de animales-humanos y no-humanos, aplicando libremente técnicas y procedimientos propios de la investigación científica de frontera, especialmente de la biotecnología, como la ingeniería genética: *MEART - The semi-living artist* (2001), *Snowflake* (2004), *The living screen* (2005), *Silent Barrage* (2006), *In-Potentia* (2007), *cellF* (2015) y la más reciente, *Bricolage* (2021). En sus obras participan especialistas en ingeniería, diseño industrial, neurofisiología, cultivo de tejidos, neurología, robótica, programación, así como artistas de

¹ En 1999 el colectivo TC&A presentó *TC&A stage one and two*, y en el año 2000, *Tissue Culture & Art(ificial) womb AKA Semi-living worry dolls* (Oron Catts e Ionat Zurr, en colaboración con Guy Ben-Ary).

la música, las artes visuales, el performance, el video o las artes biológicas. Sus trabajos circulan en espacios propios del arte en conjunción con la ciencia y la tecnología, como la Science Gallery de Dublín, Irlanda, y el Instituto Itaú Cultural, en Brasil, a la vez que se exhiben en recintos más cercanos al arte canónico, donde destaca *The pig wings project* (2000), en la cual colaboró con Oron Catts e Ionat Zurr, que forma parte de la colección del Museum of Modern Art (MoMA), en Nueva York, Estados Unidos, y la exhibición de *cellF* en el Museum of Old and New Art (Mona), en Tasmania, Australia. A lo largo de su trayectoria ha recibido reconocimientos en festivales internacionales como el Prix Ars Electronica² (2009, 2017 y 2021), el concurso internacional Arte y Vida Artificial VIDA 12³ (2012). Los textos individuales y colectivos de Guy Ben-Ary han sido publicados en revistas de alto impacto⁴ pertenecientes al mundo del arte, la ciencia y la tecnología, como *Leonardo*, *Nature* y *Frontiers in NeuroRobotics*, en revistas de circulación general sobre arte, ciencia, tecnología, música, robótica, educación y divulgación científica, así como en capítulos de libros especializados sobre música e inteligencia artificial.

Si bien en este trabajo se describirán con amplitud tres de las obras del artista (*MEART-The semi living artist*, *Silent Barrage* y *cellF*) dedicaré algunas líneas a describir, en términos muy generales, sus otras producciones. En *The Living Screen* (2005, en colaboración con Tanya Visosevic) utiliza células vivas como pantalla para proyectar

² El Prix Ars Electronica es un festival internacional que convoca artistas de los nuevos medios, se celebra desde 1987 en Linz, Austria, organizado cada año por Ars Electronica, un instituto dedicado a la cultura, la educación y la actividad científica en el campo de los nuevos medios, fundado en esta ciudad en 1979, ver: “Prix Ars Electronica”, consultada el 10 de junio de 2021, <https://ars.electronica.art/prix/de/>

³ Certamen organizado anualmente por la Fundación Telefónica entre 1999 y 2015, en Barcelona, España. En esta página puede consultarse la retrospectiva de los proyectos ganadores en cada edición: <https://vida.fundaciontelefonica.com/proyectos/>

⁴ El factor de impacto de una revista es un instrumento para comparar revistas arbitradas y evaluar la importancia relativa de cada una según las citas recibidas por los artículos que publica, se obtiene al obtener la media del número de veces que se cita un artículo publicado en cierta revista.

imágenes desde una cámara cinematográfica. Con *Snowflake* (2004, con Boryana Rossa y Oleg Maronatti) explora la noción de plasticidad⁵ al someter una red neuronal de ratón a repetidas sesiones de estimulación con la imagen de un copo de nieve para, hipotéticamente, generar(le) el recuerdo o sueño de este. *In-Potentia* (2007, con Kirsten Hudson) es una escultura generada con el cerebro de un ratón. La más reciente, *Bricolage* (2020, con Nathan Thompson), se trata de “esculturas cinéticas vivas o autómatas vivos” dentro de una incubadora suspendida, con la capacidad de autoensamblarse, derivadas de tres materiales principales: sangre, corazón [humanos] y seda.⁶

En el ámbito del bioarte, los trabajos de Guy Ben-Ary forman parte de la tendencia biomedial, donde se toma la materia biológica viva como medio para la expresión artística, y específicamente, se encuentran en el conjunto del arte realizado a partir de células, con técnicas de cultivo propias de la biología celular para generar tejidos, como las redes neuronales que conforman el cerebro de los *hybrots*. De acuerdo con el historiador de arte Daniel López del Rincón,⁷ el arte con cultivos celulares se inauguró en 1996 con la pieza *Artist' Skin Cultures*, del colectivo francés *Art Orienté Objet*, en donde cada artista cultivó tejido epitelial a partir de sus propias células y lo injertó en un fragmento de piel de cerdo que después tatuaron con la imagen de una especie en peligro de extinción. Otro hito en este conjunto de obras y artistas lo constituye el colectivo australiano *Tissue Culture & Art* con sus obras: *Semi-living Worry Dolls* (2000, con Guy Ben-Ary), pequeñas muñecas fabricadas a mano con células de piel, músculo y hueso cultivadas en moldes de polímero degradable;

⁵ En términos neuronales, la plasticidad se refiere a la capacidad intrínseca del cerebro para reconfigurarse como respuesta a las experiencias que percibe del exterior, a través de los órganos de los sentidos, cualidad gracias a la cual es posible el aprendizaje.

⁶ “Guy Ben-Ary.com”, acceso el 7 de noviembre de 2021, <http://guybenary.com/work/bricolage/> (La traducción es mía, al igual que en todos los fragmentos de esta página web.)

⁷ Daniel López del Rincón, *Bioarte. Arte y vida en la era de la biotecnología* (Madrid: Akal, 2015), 33.

The Pig Wings (2003, con Guy Ben-Ary), tres conjuntos de alas fabricadas con células madre de médula ósea de cerdo cultivadas sobre polímeros biodegradables, recubiertas con oro y conservadas en cajas de joyería; *Disembodied Cuisine* (2003), un performance donde ambos artistas comen carne de cerdo cultivada *in vitro* en un laboratorio instalado de forma temporal en la galería; *Extra Ear ¼ Scale* (2003), una oreja a escala cultivada *in vitro* a partir de células humanas, implantada posteriormente en el brazo del artista Stelarc.⁸ Destaca también el trabajo de Marta de Menezes *Tree of Knowledge* (2004), esculturas vivas elaboradas con células nerviosas vivas cultivadas *in vitro* que representan la estructura tridimensional de las neuronas;⁹ Julia Reodica con *HymNext Hymen Project* (2004-2008), esculturas que evocan el himen femenino creadas por la artista con tejido cultivado *in vitro* a partir de sus células vaginales; y Allison Kudla con sus obras *Capacity for (Urban Eden, Human Error)* (2007) y *Growth Pattern* (2010), la primera consiste en construcciones bioarquitectónicas impresas en 3D a partir de algas y semillas en un gel transparente como medio de crecimiento, que brotan y se desarrollan de forma natural; y la segunda, en una serie de mosaicos dentro de los cuales se cultivaron fragmentos de hoja de tabaco en forma de arabescos, de los cuales brotó nuevo tejido vegetal siguiendo el diseño humano.

En la esfera del bioarte, todos estos trabajos se ubican en la tendencia biomedial, caracterizada por el uso de materia orgánica viva como medio para la expresión artística. Considerar la materialidad como criterio para la clasificación de obras de bioarte es relativamente reciente, como se verá en el panorama histórico sobre este ámbito en las siguientes páginas.

⁸ “TC&A Project”, acceso el 22 de octubre de 2021, <https://tcaproject.net/> (La traducción es mía)

⁹ “Marta de Menezes”, acceso el 22 de octubre de 2021, <https://martademenezes.com/art/cultures/tree-of-knowledge/> (La traducción es mía)

1. ¿De qué se habla con el término *bioarte*?

Como término paraguas, el bioarte recoge un sinfín de prácticas artísticas agrupadas en subcategorías que apelan a la forma de abordar la relación entre arte, biología y, muchas de las veces, tecnología. Desde que surgió este neologismo, a principios del siglo XXI, su definición se ha ido modificando de acuerdo con las exploraciones del ámbito artístico en torno a descubrimientos científicos y tecnológicos, dando lugar a múltiples categorías para agrupar las creaciones donde la materia orgánica viva tuviese un papel central en la obra. De acuerdo con las técnicas o herramientas empleadas durante su producción, los trabajos de bioarte pueden pertenecer al conjunto del arte transgénico, al del arte genético o bien, al del arte biotecnológico; en cambio, si la clasificación se realiza según el estado en el cual se encuentra la materia viva pueden formar parte del arte vivo o semi-vivo, si bien estas categorías no son mutuamente excluyentes y son solo dos de las muchas que se han propuesto en el esfuerzo por caracterizar estas prácticas. No le falta razón a Jens Hauser, académico y curador francés, al decir que el término bioarte es un “monstruo etimológico” o un “término mutante”.¹⁰

Las constantes mutaciones del término bioarte derivan de las cada vez más herramientas, técnicas y conocimientos del ámbito científico que se ponen en juego durante la creación de una obra. De este modo, artistas que se interesaron por explorar las incipientes tecnologías genéticas del último tercio del siglo XX, como las técnicas del ADN recombinante, la mutación y la secuenciación genética, dieron lugar al arte genético y al arte transgénico, como la instalación *The Cult of New Eve*, del Critical Art Ensemble, en conjunto con Paul Vanouse y Faith Wilding (2000). Lo mismo ocurre cuando las técnicas de cultivo

¹⁰ Jens Hauser, *L'art biotech* (Trézélan: Filigranes Éditions, 2003), 9.

celular animal (tejidos y órganos) comenzaron a emplearse de forma rutinaria en laboratorios de varias partes del mundo durante la década de 1950 que dieron lugar al conjunto del arte semi-vivo, como es el caso de los trabajos del colectivo Tissue Culture & Art, mencionados en la introducción de este texto.

Clasificar las producciones artísticas pertenecientes al ámbito del bioarte es una tarea compleja no solo por la diversidad de materia orgánica empleada, sino también dadas las múltiples derivaciones de las técnicas biológicas involucradas, como en el caso de las tecnologías de manipulación genética, que son a la vez biotecnologías y tecnologías biológicas, términos con diferente significado aún cuando parezcan equivalentes. De acuerdo con el Convenio sobre la Diversidad Biológica, un instrumento promovido por Naciones Unidas en 1992 y ratificado por 196 países, se entiende por biotecnología “toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos”.¹¹, y aclara que “el término «tecnología» incluye la biotecnología”,¹² de lo cual se deriva su no equivalencia.

En el 2002, la crítica de arte de los nuevos medios, investigadora y curadora, Annick Bureau, propuso emplear el término “*biological art*” para agrupar las obras basadas en materia biológica viva, categoría de la que se desprenden tres grandes subcategorías: arte biotecnológico, arte genético y arte transgénico, división formulada bajo un criterio técnico, es decir, a partir de las herramientas o técnicas científicas empleadas para producir la obra.¹³

Cuatro años más tarde, en 2006, el bioartista estadounidense George Gessert propuso considerar tanto el criterio técnico de Bureau como otro material, a partir de lo cual se crean

¹¹ Naciones Unidas, 1992. *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Ginebra: Naciones Unidas, 3.

¹² *Ibíd.*, 4.

¹³ Daniel López del Rincón, *Bioarte...*, 15.

dos grandes grupos: el “reino basado en el carbono” y el “reino no basado en el carbono”.¹⁴ Gessert toma como criterio de separación la presencia o ausencia de carbono, uno de los elementos más abundantes en la totalidad de los seres vivos. De este modo, se consideran bioarte todas las obras realizadas con materia biológica viva, aún cuando no impliquen tecnología biológica, lo cual da lugar a subdivisiones como arte biotecnológico, arte genético, arte ecológico y arte de la tierra, entre otras. El artista brasileño Eduardo Kac hace eco de esta división que condiciona el bioarte a la presencia del elemento vivo, al afirmar “*bioart is in vivo*”.¹⁵ Este bioartista es reconocido por *GFP Bunny (Alba)* (2001), un conejo vivo en cuyo genoma se introdujo información genética de una medusa que emite fluorescencia verde cuando se le ilumina con luz azul.

Apenas un año antes, W. J. T. Mitchell, crítico de literatura e historiador del arte, había desplazado el interés de la especificidad del medio particular del bioarte al considerarlo más como arte conceptual que como una “nueva forma de arte”, en tanto las personas deben imaginar el uso de las biotecnologías o la propia materia biológica viva que se le presentan en una “caja negra” de la que solo es visible el resultado de lo ocurrido en su interior,¹⁶ como sería el caso del conejo manipulado por Eduardo Kac.

De acuerdo con el artista australiano Oron Catts se trata también de obras de arte biológico o arte vivo, dado que emplean sistemas biológicos vivos que suelen ser manipulados y/o modificados por el artista usando conocimiento, tecnología e ingeniería biológicas emergentes.¹⁷

¹⁴ Gessert George (2006) en *Yasmin Discussion “Art & Biology”*. Citado en López del Rincón, *Bioarte...*, 12.

¹⁵ López del Rincón, *Bioarte...*, 15.

¹⁶ W. J. T. Mitchell, “The Work of Art in the Age of Biocybernetic Reproduction,” *Modernism/modernity* 10, no. 3 (2003): 482.

¹⁷ Rosi Braidotti y Maria Hlavajova (eds.) *Posthuman glossary* (Londres: Bloomsbury Academic, 2018), 66-67.

Uno de los intentos más recientes por categorizar los trabajos de bioarte es la propuesta del historiador del arte y catedrático de la Universidad de Barcelona, Daniel López del Rincón, quien retoma las aproximaciones anteriores para agregar el conjunto del arte con tecnologías no biológicas, como la robótica o el mundo digital, dando como resultado el arte biónico y el arte de la vida artificial, que si bien no forman parte del conjunto bioarte sí pertenecen al contexto arte-biología-tecnología, el primero, por buscar hibridar lo robótico con el cuerpo humano, y el segundo, por buscar simular la vida biológica pero con medios diferentes a ésta (figura 1)¹⁸. Propone las siguientes definiciones:¹⁹

- Arte biónico, aquel en donde la robótica se emplea para elaborar prótesis electromecánicas que se hibridan con el cuerpo biológico.
- Arte de la vida artificial, donde se realizan simulaciones de la vida por medios informáticos.
- Arte transgénico, es una de las aplicaciones del arte genético en el arte.
- Arte genético, donde se utilizan técnicas de ingeniería genética recurriendo para ello a materiales biológicos.
- Arte biotecnológico, intervención sobre los procesos de la vida a un nivel microscópico, sirviéndose de técnicas propias del laboratorio.
- Arte y tecnologías biológicas, técnicas y procedimientos propios de la biología experimental en el contexto del laboratorio.

En sintonía con la propuesta de López del Rincón, Oron Catts, afirma que el “bioarte también incluye, entre otras cosas, expresiones tradicionales que tratan vagamente de los futuros de

¹⁸ Las figuras se encuentran a partir de la página 53 de este documento.

¹⁹ López del Rincón, *Bioarte...*, 11-13.

la vida, imágenes especulativas con Photoshop y, en algunos casos, otras ramas de la ciencia no vinculadas directamente con la biología”.²⁰

Categorización de los trabajos de Ben-Ary

La artista y curadora búlgara Boryana Rossa, colaboradora de Ben-Ary en *Snowflake* (2004), denominó su trabajo con su propio neologismo *nervoplastica*, apelando a la característica común en sus obras, con excepción de *Bricolage*, el uso de neuronas como materia, sean o no intervenidas con herramientas y procedimientos biotecnológicos.

En un sentido similar, Ryszard W. Kluszczyński, profesor de estudios culturales y mediáticos de la Universidad de Lodz, en Polonia, y curador de la primera muestra retrospectiva del trabajo de Ben-Ary, en 2015, afirma que el trabajo de este artista podría etiquetarse como “(*new media*) *bio/neural-robotic art*,”²¹ al combinar características de estas corrientes desde la concepción hasta la exhibición de la obra, pasando por todo el proceso de producción, que transcurre en la conjunción de laboratorios científicos de alto nivel y laboratorios o talleres de ingeniería electrónica y diseño industrial.

Para Guy Ben-Ary, el término *nervoplastica* resulta más adecuado para referirse a su trabajo, dada su “relación con las neurociencias y el arte neuronal, frente a la denominación “arte semi-vivo”, que aún cuando es un “concepto muy importante para Oron (Catts) e Ionat (Zurr), porque cuando ellos comenzaron a trabajar con esto hace veinte años las tecnologías apenas comenzaban a cambiar”,²² pero en este momento el término ya está rebasado y no es

²⁰ Braidotti y Hlavajova, *Posthuman glossary*, 66-67.

²¹ Ryszard W. Kluszczyński, ed. *Guy Ben-Ary: Nervoplastica. Bio-robotic art and its cultural contexts* (Gdansk: Centro de Arte Contemporáneo de Łaznia, 2015), 11.

²² Guy Ben-Ary, en conversación con el artista durante la estancia de investigación realizada en SymbioticA, junio 13 de 2019, Perth, Australia.

suficiente para referirse a su trabajo con cultivos neuronales, en donde el foco de la crítica no es el cultivo mismo sino las aplicaciones de explotar su fisiología natural.

2. Hybrot: entidades robóticas controladas por un cerebro biológico vivo

El neologismo hybrot designa un tipo particular de robot cuyo cuerpo mecánico está dotado de un “cerebro” biológico vivo que lo controla para reaccionar a los estímulos del entorno, los cuales percibe a través de gadgets que se le han incorporado para captar imágenes, sonidos o ubicación espacial. El cerebro de estas entidades consiste en una red de células nerviosas colocada en un dispositivo de laboratorio donde funciona de manera análoga a las redes neuronales al interior del cerebro animal, emitiendo actividad eléctrica (*output*) a partir de la estimulación que han recibido (*input*). El output viajará hasta las partes del cuerpo mecánico especializadas en ejecutar una acción, como avanzar o detenerse, girar hacia derecha o izquierda, hacer un trazo o emitir sonidos. La interacción entre el cuerpo mecánico y el cerebro biológico tiene lugar aún cuando ambos se encuentren separados geográficamente, ya que son capaces de intercambiar información a través de internet.

De acuerdo con Steve Potter, pionero en el campo de las redes cultivadas encarnadas, (usualmente conocidas por su denominación en inglés, *embodied cultured networks*) en el Instituto Caltech, en Pasadena, Estados Unidos, y en cuyo laboratorio se dieron los primeros pasos para la creación de *MEART* y *Silent Barrage*, “un hybrot es una combinación simbiótica y completamente integrada de pequeñas redes neuronales biológicas vivas,

simulaciones informáticas y construcciones robóticas, que crean nuevos microsistemas neuronales híbridos”.²³

Los primeros robots híbridos con redes celulares cultivadas *in vitro* fueron desarrollados por equipos de investigación en el California Institute of Technology y el Georgia Institute of Technology, coordinados en ambos casos por Steve Potter: Animat (2000) y Koala (2003), precursores directos de los *hybrots* revisados en este texto.

Animat: una animación de ratón controlada por neuronas vivas

En los albores del siglo XXI el laboratorio encabezado por Steve Potter en el California Institute of Technology, en Estados Unidos, dio a conocer un novedoso método para estudiar la manera en que las redes neuronales vivas cultivadas *in vitro* codifican y procesan información. Se trata del Neurally-Controlled Animat, una animación digital de ratón cuyo desplazamiento por un entorno virtual es controlado por la actividad eléctrica de las redes neuronales vivas con las cuales está interfazado. La actividad neuronal *in vitro* es, a su vez, producto de la estimulación generada por la transformación de los movimientos del Animat en impulsos eléctricos.²⁴ Fue esta la primera ocasión que se logró incorporar la retroalimentación en tiempo real a circuitos que involucran interfaces con cultivos neuronales.

Las células nerviosas empleadas para controlar el Animat fueron dissociadas de la corteza cerebral de embriones de ratón con 18 días de desarrollo y colocadas en una placa de cultivo donde se mantuvieron con vida, se reprodujeron y crecieron con el suministro

²³ Steve M. Potter, T. B. DeMarse, *et al.* “Hybrots: Hybrids of Living Neurons and Robots for Studying Neural Computation,” en Ryszard W. Kluszczyński, *op. Cit.*, 183.

²⁴ Thomas DeMarse, Daniel A. Wagenaar, *et al.*, , “The Neurally Controlled Animat: Biological Brains Acting with Simulated Bodies,” *Autonomous robots* 11 (2001): 305–310.

sistemático del sustrato nutricional, y bajo condiciones idóneas de asepsia, temperatura y humedad. Pocas horas son necesarias para que las neuronas individuales en la placa de Petri comiencen a establecer conexiones entre sí de forma espontánea, y solo algunos días para que formen una red sobre toda la superficie de la placa de cultivo y generen disparos de actividad eléctrica (*burst*) o potenciales de acción, equiparables a los que ocurren *in vivo*, es decir, en el cerebro de cualquier animal con vida. Esto permitió al equipo de investigación corroborar dos cosas fundamentales para su estudio, la primera, que las redes neuronales pueden formarse y mantenerse con vida en una placa de cultivo bajo condiciones de laboratorio, y la segunda, que su actividad eléctrica sería equivalente a la que tendrían en la corteza cerebral del animal tanto a nivel individual (células aisladas) como colectivo (redes neuronales).

La placa de cultivo en donde se colocó aquella red de células nerviosas fue diseñada *ex profeso* para estudios de neurociencias por los investigadores C. A. Thomas Jr. (en 1972) y Guenter Gross (en 1979), denominada *multi-electrode array* por tener sobre su superficie 60 electrodos distribuidos como lo estarían en un microchip, cada uno del tamaño de una célula y capaz de enviar impulsos eléctricos a las neuronas en su superficie a la vez que registrar la actividad eléctrica que éstas generan como respuesta (figuras 2 y 3). Si bien esta placa MEA fue diseñada hace algo más de cuatro décadas, no fue hasta 1999 que existieron en el mercado computadoras con la capacidad para procesar la enorme cantidad de datos generados por sus seis decenas de electrodos, lo que finalmente la puso al alcance de los equipos de investigación en neurociencias de todo el mundo.²⁵

²⁵ Potter, DeMarse, *et al.*, “Hybrot: hybrid of living neurons...”, 2.

Además del cultivo celular, se diseñó para el Animat un entorno virtual donde realizaría el recorrido: una habitación sencilla de dos dimensiones con paredes y obstáculos dispuestos de forma estratégica para incrementar gradualmente el nivel de dificultad del experimento. Dicho entorno fue enlazado con un programa computacional que traza la ubicación espacio-temporal de cada potencial de acción generado en el MEA, lo que permite saber cuál de los electrodos registró la actividad eléctrica ocurrida en un período temporal específico (microsegundos) y, por lo tanto, identificar la zona de la red neuronal *in vitro* donde ésta fue generada, es decir, el grupo neuronal que reaccionó al estímulo recibido. A partir de esta identificación el MEA se dividió en cuadrantes y se programó la interfaz para que la actividad eléctrica registrada en cada uno detonara una sola dirección de movimiento en el Animat: al frente, atrás, izquierda o derecha. Cada vez que el ratón choca contra un muro u obstáculo en su habitación virtual las redes neuronales *in vitro* reciben una cierta estimulación, con lo cual se mantiene el circuito de retroalimentación bidireccional en tiempo real entre ambos ambientes, el virtual y el real.

Si bien se habían realizado con anterioridad experimentos para enlazar robots con cultivos de redes neuronales vivas, con el Neurally-Controlled Animat se logró crear por vez primera una interfaz entre éstas y algo que permitiese observar su actividad en términos de movimiento más que en forma de gráficos y números, lo cual era materialmente imposible *in vivo*, es decir, en el cerebro de un animal vivo ejecutando acciones en el mundo real. Alcanzado este hito, el siguiente reto de Steve Potter y su equipo de investigación resulta una consecuencia natural: trasladar el Animat del mundo digital al mundo real.

Koala: un cuerpo físico para el cultivo neuronal

Koala es un robot híbrido que combina redes neuronales vivas *in vitro*, simulaciones computacionales y robótica, desarrollado como manera de recorporeizar (*re-embodiment*) redes neuronales formadas por las células nerviosas diseccionadas del cerebro de embriones de ratón, un paradigma de investigación contrapuesto a las aproximaciones incorpóreas *in vitro* (*disembodied*), como el Animat, y más “naturalista”, a decir de Potter, asumiendo que las neuronas “evolucionaron para controlar un cuerpo y así interactuar con el mundo”.²⁶ Se trata de un robot con ruedas que se desplaza por el espacio que percibe gracias a la interfaz entre su «sistema sensorial» (los gadgets instalados para captar el entorno) y su cerebro. Este sistema sensorial recaba información relativa a la distancia desde el robot hasta un objeto y la envía en forma de impulsos eléctricos a la red neuronal cultivada en un MEA. Las neuronas así estimuladas emiten una respuesta en forma de potenciales de acción que los electrodos en la placa registran y envían de vuelta al robot para desencadenar su movimiento en la dirección, distancia y velocidad precisas que le permitan avanzar sin chocar contra los obstáculos (figura 4).

Tal como en el Animat, la red neuronal cultivada en el MEA partió de células corticales de embriones de ratón con 18 días de crecimiento.

Además de reemplazar el entorno virtual por uno real para los desplazamientos del cuerpo robótico, el cambio significativo en el caso de este hybrot fue ponerlo en relación con otro robot móvil al cual debía esquivar tal como hacía el Animat con los obstáculos fijos, introduciendo así una variable de mayor complejidad para el cerebro biológico de Koala dado que debía recalcular la velocidad, trayectoria y distancia de sus desplazamientos

²⁶ *Ibidem*.

constantemente de acuerdo con los movimientos aleatorios de su contraparte. Aún cuando se trató de un ejercicio de alta complejidad (incluso para cerebros animales *in vivo*), Koala logró superar cada reto satisfactoriamente, manteniendo una distancia pertinente con respecto al segundo robot, ajustando su velocidad y redireccionando sus desplazamientos de la manera esperada.

Koala permitió al equipo de investigación de Steve Potter corroborar que los cultivos neuronales tienen una capacidad computacional inherente, es decir, que las neuronas están habilitadas para procesar información de entrada y generar una respuesta de salida de manera natural, lo cual tiene un elevado potencial para estudiar los procesos de aprendizaje en redes neuronales biológicas cultivadas. Este *hybot* también permitió corroborar que el aprendizaje (entendido como refinamiento del comportamiento) puede manifestarse en forma de cambios en la actividad neuronal y el nivel de comportamiento del robot, lo cual permite suponer que estas entidades resultan una vía factible para estudiar los mecanismos de plasticidad inherentes a las células nerviosas y correlacionarlos con estímulos específicos.

3. Crear al artista, no la obra de arte

Desde el punto de vista de Ben-Ary, sus *hybots* más que obras de arte son artistas en sí mismos, que emplean medios tradicionales como el dibujo o la música para expresar su experiencia subjetiva del entorno. En este sentido, *cellF* es la forma más acabada de su búsqueda al tratarse de una entidad totalmente análoga que durante las presentaciones funciona de manera autónoma, sin necesidad de alguien que lo opere mientras interactúa con la o el intérprete para producir su música:

cellF funciona sin intervención humana. Cuando alimentamos el cultivo neuronal, somos como el chef que prepara la comida a un músico. Cuando lo

transportamos, somos como el chofer del músico. Después, ponemos al músico en el entorno, dentro del sintetizador, y preparamos todo para que pueda dar el concierto. Luego, nos vamos detrás del escenario y la pieza funciona sin nuestra intervención.²⁷

Con recurrencia, Ben-Ary emplea metáforas que aluden a las similitudes entre el actuar de una persona dedicada a la creación artística y el proceso seguido por sus hybrot durante las presentaciones. Al hablar de *MEART*, por ejemplo, suele decir que la forma en que la cámara que da seguimiento a los trazos realizados por los brazos robóticos para decidir cómo y hasta cuándo continuar ocurre “de forma análoga a como un pintor se aleja del lienzo para comprobar la obra en curso”.²⁸ La comprensión del proceso de creación y funcionamiento de los hybrot “benaryanos” será fundamental para reflexionar en torno a ello.

Un hybrot artista en el laboratorio de ciencias: MEART - The semi living artist

MEART es el primer hybrot de Guy Ben-Ary y el segundo de Steve Potter, diseñado y construido en colaboración con los artistas Phil Gamblen, Iain Sweetman y Oron Catts, el bioingeniero Douglas Bakkum y el científico y cofundador de SymbioticA Stuart Bunt. Se trata de un organismo cibernético controlado por una red neuronal viva cultivada en un MEA a partir de células nerviosas diseccionadas del cerebro de un ratón. En términos generales, el hybrot se integra por cuatro componentes:²⁹

- Software, las interfaces entre el cultivo neuronal y el cuerpo robótico.
- Hardware, los tres brazos robóticos (figura 5).

²⁷ Guy Ben-Ary, en conversación con el artista, junio 13 de 2019.

²⁸ Douglas J. Bakkum, Philip M. Gamblen, Guy Ben-Ary, Zenas C. Chao y Steve M. Potter, “MEART: The semi-living artist”, *Frontiers in Neurorobotics* (2007): 1-5. doi: 10.3389/neuro.12/005.2007

²⁹ Ryszard W. Kluszczyński, ed. *Guy Ben-Ary...*, 193, y página web del artista.

- *Wetware*, neuronas diseccionadas del embrión de ratón y cultivadas en el MEA (figura 6).
- Internet, se empleó como medio de comunicación entre los componentes debido a que las estrictas condiciones de temperatura, humedad y asepsia requeridas para mantener con vida los cultivos neuronales, el *wetware*, obligaron su permanencia en el laboratorio de Potter mientras su cuerpo robótico era trasladado y ensamblado en los diferentes espacios de exhibición.

El cuerpo o hardware del *hybrot* se conforma por tres brazos robóticos que sostienen en cada “mano” un marcador para trazar líneas sobre el lienzo de papel colocado debajo de éstos, y dos cámaras independientes: una para capturar la imagen a procesar y otra para “observar” el dibujo trazado. La imagen capturada por la primera cámara se transforma en un mapa de estimulación de 8 x 8 píxeles, isomórfico con la distribución de los electrodos en el MEA, a partir del cual se generan los impulsos eléctricos con que será estimulada la red neuronal en el MEA. Al alcanzar su potencial de acción, las células nerviosas responden con actividad eléctrica (tal como hacen al interior del cráneo *in vivo*) que será transferida hasta los brazos robóticos a través de internet y expresada con trazos en distintas direcciones. Mientras los brazos ejecutan esta conducta, la segunda cámara monitorea el progreso del dibujo capturando una fotografía cada cinco minutos para compararla con la imagen original y decidir si continuar o finalizar los trazos. De este modo se tiene un ciclo cerrado y bidireccional de retroalimentación que se mantiene hasta que el resultado de la comparación entre las imágenes “alcanza un cierto umbral de marcas en el papel”,³⁰ momento en que considera que el dibujo está concluido.³¹ (figuras 7 y 8)

³⁰ “Guy Ben-Ary.com”, acceso el 7 de noviembre de 2021, <http://guybenary.com/work/meart/> (La traducción es mía)

³¹ Para conocer el esquema de funcionamiento véase: <http://www.fishandchips.uwa.edu.au/images/about/maertchart.pdf>, consultado el 12 de abril de 2021.

Un hybrot para registrar instantes: Silent Barrage

A partir de la experiencia con *MEART*, Guy Ben-Ary decidió desarrollar un hybrot con el cual pudiese interactuar activamente el público durante las exhibiciones, con la intención de favorecer reflexiones sobre la relación directa entre la conducta humana y la actividad eléctrica de las neuronas. El resultado fue *Silent Barrage* (figura 9) una instalación a escala humana construida en colaboración con los artistas Phil Gamblen y Brett Murray, los ingenieros Peter Gee Born (electrónica), Riley Zeller-Townson (biomédica), Nathan Scott (mecánica) y el científico Steve Potter.

Al igual que en *MEART*, el cerebro biológico y el cuerpo robótico de *Silent Barrage* ocuparon locaciones diferentes: el Neurolab de Potter en Georgia, Estados Unidos, el primero y SymbioticA, en Perth, Australia, el segundo, dadas las condiciones de asepsia requeridas para mantener con vida la red neuronal; conectados para el intercambio de información a través de internet.

El cerebro de *Silent Barrage* fue también una red neuronal cultivada *in vitro* a partir de células nerviosas obtenidas de embriones de ratón. Su cuerpo robótico se conforma por un arreglo de tubos de PVC dispuestos en posición vertical dentro del espacio de exhibición en forma tal que los visitantes pudiesen transitar entre ellos. Cada tubo tiene un “robot ruidoso” que lo rodea como si se tratase de un anillo (figura 10) y lo recorre de arriba hacia abajo trazando líneas horizontales sobre el lienzo de papel con que se cubre su superficie en cada exhibición (figura 11). El sistema sensorial del hybrot se integra por cámaras colocadas en el techo de la galería que registran la imagen, la ubicación y el sonido de las personas durante su el tránsito entre los tubos, así como el ruido que producen los propios robots al desplazarse sobre la superficie de éstos.

El circuito de retroalimentación entre el cuerpo y el cerebro del *hybrot* es esencialmente el mismo que en *MEART*: las cámaras en la galería perciben y registran la imagen y el sonido que generan las personas al caminar entre los tubos de PVC y la envían a una computadora en el mismo espacio de exhibición donde se codifica y etiqueta con la información del tubo donde fue generada. Estos datos son enviados por internet hasta la computadora en el Neurolab programada para decodificarla, transformarla en impulsos eléctricos y enviarla al MEA, donde estimulará el sector de la red neuronal asignado al tubo que la ha generado. Las neuronas así estimuladas responden con potenciales de acción que son registrados por los electrodos ubicados en ese sector de la placa. La información recabada se envía a la computadora en este extremo de la interfaz, donde una vez más se codifica y transfiere vía internet hasta la computadora en el espacio de exhibición, donde se transforma para estimular alguno de los robots que circundan los tubos en la galería. Este input hace que el robot se desplace hacia arriba o abajo del tubo para, después, trazar un anillo a su alrededor. De este modo, la actividad de los robots en los tubos es la expresión de la actividad eléctrica de las neuronas en el MEA, a la vez que las marcas trazadas sobre su superficie (figura 11) representan tanto el ruido generado por los robots como la actividad de quienes transitan entre aquellos.³²

El nombre de la instalación hace referencia a la actividad eléctrica intensa y desordenada inherente a las células nerviosas *in vitro*: *barrage*. Caos que se apacigua o silencia cuando son reintegradas a un sistema sensorial artificial, es decir, cuando pueden recibir información del exterior mediante algún dispositivo tecnológico, lo que trae a colación las palabras de Potter sobre las células nerviosas que “evolucionaron para controlar un cuerpo

³² “Guy Ben-Ary.com”, acceso el 30 de mayo de 2019, <http://guybenary.com/work/cellf/>

y así interactuar con el mundo”. Con ella Guy Ben-Ary investiga la naturaleza de las ideas, las disfunciones neuronales y el libre albedrío; al mismo tiempo, la instalación busca ser una “manifestación sensorial inmersiva y sobrecogedora”³³ de cuestiones fundamentales para nuestro entendimiento del mundo y las propias acciones, llevando al público a reflexionar sobre si realmente las personas decidieron libremente su tránsito entre los tubos o si éste es más bien determinado por el movimiento y ruido de los robots; en otras palabras, ¿quién controla a quién y qué es elegir con libertad?

Un hybrot análogo para crear música: cellF

Con su tercer hybrot Guy Ben-Ary cumplió su sueño de infancia y juventud: ser una estrella de rock, aún cuando ni cantar ni tocar instrumentos musicales destacan entre sus habilidades. *cellF* es el primer sintetizador neuronal análogo en el mundo que funciona como un instrumento completamente autónomo que improvisa música en respuesta a un estímulo de la misma naturaleza producido por un músico humano: música posthumana, como el mismo artista la llama.³⁴ En su concepción y desarrollo participaron científicos, ingenieros y artistas, que trabajaron en laboratorios de Australia y Europa para cultivar el cerebro de *cellF*: el experto en sintetizadores Andrew Fitch, el músico Darren Moore, el neuroingeniero Douglas Bakkum, el experto en reprogramación celular Mike Edel, el artista multidisciplinario Nathan Thompson y el experto en terapias basadas en trasplante celular Stuart Hodgetts.

³³ Andy Clark, *Being There: Putting Brain, Body and the World Together Again* (Cambridge: MIT Press, 1997), citado en: Potter, DeMarse, *et al.*, “Hybrot: hybrid of living neurons...”, 2.

³⁴ Guy Ben-Ary. “cellF”, Guy Ben-Ary, <http://guybenary.com/work/cellf/>, 2014 (Consultado el 30 de mayo de 2019).

Lo que ha llamado la atención de propios y extraños e incluso le ha valido una reseña en la prestigiosa revista de ciencias *Nature Nanotechnology*³⁵ es que el cerebro de este sintetizador está conformado por células nerviosas humanas que el propio Ben-Ary obtuvo a partir de un diminuto trozo de piel de su brazo izquierdo empleando técnicas de bioingeniería, lo que convierte a *cellF* en el primer hybrot controlado por un cerebro humano vivo.

Las células epiteliales obtenidas con la biopsia fueron manipuladas genéticamente para llevarlas a su estado inicial de células madre pluripotentes, es decir, con la capacidad para diferenciarse en cualquier tipo celular del organismo humano. Estas neuronas en potencia fueron cultivadas en un MEA con el sustrato específico para favorecer su diferenciación en el sentido esperado. Al igual que con las células nerviosas de ratón, el cultivo debe resguardarse celosamente de los patógenos presentes en el aire, lo que supuso el reto de construir una incubadora especial en SymbioticA. Una vez convertidas en neuronas, las células mostraron el mismo comportamiento que tendrían dentro del cerebro de Ben-Ary generando actividad eléctrica y estableciendo redes a partir de ésta. A diferencia de *MEART*, en donde la incubadora que hospeda el cultivo neuronal en el MEA se encuentra en una ubicación geográfica diferente a la del cuerpo robótico, *cellF* lleva una incubadora con las condiciones óptimas para el cultivo como parte del cuerpo robótico (figura 13).

Durante las presentaciones (figura 12) las células nerviosas en el MEA reciben la estimulación proveniente de la música ejecutada por la persona humana y reaccionan emitiendo potenciales de acción que son transferidos como electricidad al amplificador, donde se incrementa su voltaje lo necesario para accionar los diferentes módulos del sintetizador, hasta donde se envían como último paso del proceso. De acuerdo con su voltaje,

³⁵ Guy Ben-Ary, "Questioning life", *Nature Nanotechnology* 14 (2019): 405. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0444-8>

las señales que salen del amplificador detonan uno u otro sonido que es proyectado hacia afuera dada su forma de gramófono (figura 13). El circuito de retroalimentación se completa cuando el músico humano escucha los sonidos improvisados por el hybrot y responde en consecuencia, con lo cual el proceso comienza nuevamente. Todo el proceso ocurre de manera análoga, es decir, sin participación de computadoras, códigos ni programas informáticos.

Con *cellF* Ben-Ary inaugura la “inteligencia subrogada” definida por el artista como una forma inteligencia *in vitro* generada por materiales biológicos conformados en una red neuronal viva que se encuentra fuera del organismo del cual provino; esta red cuenta con el “potencial de inteligencia”, es decir, la capacidad de plasticidad gracias a la cual es posible aprender de la experiencia y responder al medio a partir de estos aprendizajes.³⁶ Esta forma de inteligencia se suma a la inteligencia artificial, empleada para controlar computadoras y otros dispositivos; la inteligencia biológica, propia de animales y otras especies; y la inteligencia *in vitro*, que tiene lugar en las redes neuronales cultivadas en una placa de Petri.

La idea de inteligencia subrogada derivó de la noción “músico subrogado”, papel desempeñado por *cellF* durante su presentación en Holanda cuando el cerebro cultivado para tal fin provino de células madre compradas en un laboratorio local, procedentes, por tanto, de una persona anónima. ¿El motivo? Las estrictas regulaciones holandesas en materia de organismos genéticamente modificados (MGO, en inglés) prohíben el ingreso de cualquier materia biológica que haya sido sometida a técnicas de manipulación genética, como lo son las células madre de Guy Ben-Ary intervenidas con la iPSC.

³⁶ Guy Ben-Ary, en conversación con el artista, junio 19 y 25 de 2019.

Lo que decidí hacer entonces [cuando prohibieron el acceso de sus células] fue ordenar células primarias de un catálogo en línea, es decir, células que no han sido reprogramadas sino que fueron tomadas de un embrión o de cualquier otro tejido, y usarlas para hacer la presentación en Holanda. Fue la primera vez que no se usaron mis propias células sino células de cualquier otro organismo para controlar *cellF*. Se trató entonces de un concierto donde *cellF* fue subrogado por alguien que desconocemos. En la plática que impartí asociada al concierto, mostré una imagen en donde incluyo a *cellF*, como algo impersonal, como el primer músico que fue rechazado de un país por las regulaciones para GMO, junto a otros músicos que han pasado por lo mismo pero debido a otros motivos, como drogas o violencia.³⁷

Para realizar una presentación es necesario transportar por separado el cuerpo y el cerebro biológico del sintetizador. Por un lado, el cuerpo mecánico se envía en partes hasta el espacio donde se realizará la exhibición para ser ensamblado por el equipo que participó en su desarrollo. Por otro lado, las células neurales de Ben-Ary son congeladas con criogenia³⁸ en SymbioticA y enviadas hasta el laboratorio huésped, junto con las instrucciones para su manejo y el protocolo detallado para cultivarlas hasta obtener la red neuronal o cerebro del sintetizador (figuras 16 y 17). Si bien aún no son neuronas propiamente dichas, estas células neurales ya han sido manipuladas para llevarlas de su condición epitelial al estado de células madre y, después, condicionarlas para que se expresen como células nerviosas. De este modo existe la posibilidad de que, en principio, cualquier persona pueda vivir la experiencia de ser

³⁷ Guy Ben-Ary, en conversación con el artista, junio 16 de 2019.

³⁸ La criogenia o criogénesis es un proceso mediante el cual las células se enfrían a la temperatura de ebullición del nitrógeno líquido, menos 196 °C o aún a temperaturas más bajas. Este proceso permite preservar el material biológico en estado de congelación con la posibilidad de devolverlo a su estado funcional original una vez descongelado.

una estrella de rock sin necesidad de aprender a tocar un instrumento musical ni contar con una banda, sino “únicamente” sometiendo algunas de sus células al proceso con la iPSC descrito antes.

Al mismo tiempo que explora otras formas de inteligencia, *cellF* atrae la atención del circuito del arte contemporáneo canónico desde donde ha sido invitado a presentar el sintetizador más por su estética que por su funcionalidad. Tanto Ben-Ary como Nathan Thompson consideran que ello confirma el logro de uno de sus principales objetivos durante la concepción de la pieza, “lucir moderno y atractivo, que produjera un impacto visual inmediato en las personas, por su diseño y su gran tamaño, pero no demasiado como para intimidarlas”, además de otras cualidades, como hacer referencia a la música experimental, especialmente al trabajo de Alvin Lucier,; transportarse con facilidad y ser autónomo, en el sentido de tener en sí mismo todo lo necesario para funcionar, incluidas las células del cultivo neuronal, motivo por el que cuenta con una incubadora en su parte posterior; y funcionar totalmente de forma análoga, sin intermediación de dispositivos computacionales ni software en ninguno de sus componentes.³⁹ Una más de sus características es la posibilidad de permanecer expuesto en un espacio de exhibición como documento, sin el cultivo neuronal, pero listo para funcionar toda vez que se cuente con las células neurales que jugarían el rol de cerebro, ante lo que Ben-Ary comenta:

Si alguien quiere comprar alguno de mis trabajos, *cellF* o *Silent Barrage*, por ejemplo, podría haber dos formas: comprar solo el objeto no funcionando, solo como objeto arqueológico, o como documento. O puedes tener un cultivo de tejidos en tu museo y podemos hablar sobre el proceso para mantenerlo vivo, y cuando quieras mostrarlo solamente deberás proveer las células que tienes en

³⁹ Nathan Thompson, en conversación con el artista durante la estancia de investigación realizada en SymbioticA, junio 26 de 2019, Perth, Australia. (La traducción es mía, al igual que en los siguientes fragmentos de entrevistas, todas ellas registradas en audio con autorización de las personas involucradas.)

criogénesis. Yo podría enviarte el objeto, el protocolo, entrenar a las personas para hacerlo, o meter el laboratorio en tu museo. No tengo problema en que mis obras estén exhibidas en un museo, como objetos documentales, pero sería algo muy delicado si pretendieran encenderlo y usarlo de forma indiscriminada.⁴⁰

El cuerpo mecánico de *cellF* evoca un gramófono, uno de los primeros dispositivos para reproducir sonidos registrados en un medio físico plano, su cerebro se sitúa en el centro de su parte frontal, encima del sintetizador, en una posición análoga a la que ocupa en el cuerpo humano, rodeado por los cables que hacen las veces de nervios para conectar el cerebro biológico con los aditamentos para producir música, dando lugar a la imagen de una neurona con el axón y las dendritas extendidas (figura 14).

iPSC: una tecnología para forzar a la vida a ser lo que no es

El procedimiento para obtener las células nerviosas que darían lugar al cerebro de los *hybrots*, denominada iPSC por las siglas en inglés para células madre pluripotentes inducidas, tecnología de ingeniería genética descubierta en 2006 por el profesor Shinya Yamanaka, quien recibió el Premio Nobel de Fisiología en reconocimiento por develar que las células maduras pueden ser manipuladas genéticamente para convertirlas en células madre pluripotentes, estado desde el cual es posible forzarlas hacia su diferenciación en cualquier tipo de célula del organismo. Entre otras cosas, este hallazgo permitió superar la mayor dificultad ética de la investigación con células madre: la necesidad de tomar estas células de un embrión que moriría como consecuencia de ello.

⁴⁰ Guy Ben-Ary, en conversación con el artista, junio 25 de 2019.

El proceso de “reversibilidad” de la iPSC es factible dado que todas las células del organismo animal proceden de una misma célula primordial, el cigoto, resultado de la unión del óvulo y el espermatozoide, el cual se dividirá en células totipotentes que se diferenciarán en células especializadas para cada uno de los órganos del cuerpo. Esta especialización celular tiene lugar dada la expresión diferencial de los genes al interior del núcleo celular, que si bien son los mismos en todas las células, algunos se activan o desactivan (encienden o apagan, expresan o no-expresan) de acuerdo con la información que reciban de su entorno. Es precisamente este proceso el que se interviene con la iPSC, manipulando el medio en que se desarrollan las células *in vitro* para propiciar la expresión específica de los genes del tipo celular que se requiera, como células pancreáticas, cardíacas (como en *Bricolage*) o neuronales.

La iPSC es una tecnología prometedora para la salud humana (y, quizá, la no-humana) que podría beneficiar a personas que requieren un trasplante y podrían obtenerlo a partir de cultivar sus propias células en un laboratorio; o a quienes viven con diabetes, ya que se les podrían implantar células madre de laboratorio con el potencial de diferenciarse en células pancreáticas productoras de insulina. Como toda tecnología, la iPSC implica riesgos, como la mutación o contaminación de las células o tejidos implantados, y su costo es aún muy superior a sus beneficios.

Como en una película de ciencia ficción distópica, Guy Ben-Ary traslada esta tecnología del contexto científico hasta el mundo del arte, movimiento que le permite poner ante los ojos de otro público y de otros ámbitos del pensamiento avances científicos que trastocan lo que hoy entendemos como vida y nos colocan en la antesala de mundos futuros donde la manipulación celular con todo tipo de fines ya no será exclusiva de investigaciones científicas enfocadas en la salud humana. A la vez, estas obras problematizan el poder de la

ciencia en combinación con la tecnología y el capital, para manipular la vida al antojo de los deseos y ambiciones de quien pueda pagarlo.

¿Qué tan artistas son estos hybrots?

Si bien las metáforas empleadas por Ben-Ary sobre sus hybrots resultan muy elocuentes, manifiestan el carácter reduccionista de aproximaciones neurocientíficas donde la condición humana se reduce a pura actividad neuronal suprimiendo cualidades sustanciales de la creación artística, cualidades afectivas que si bien se originan en la actividad neuronal la desbordan en una experiencia subjetiva que subyace en la obra de arte. De forma paradójica, la metáfora empleada por Ben-Ary para definir a sus hybrots replica la corriente reduccionista de la investigación en neurociencias, de acuerdo con la cual, la experiencia humana es una cuestión de estímulo-respuesta en términos de actividad eléctrica, idea originada en las posiciones de Albert Einstein sobre el libre albedrío y la conciencia, bajo la cual “el cerebro estaría cruzado por cadenas causales empíricamente comprobables en las que habría una conexión entre pensamientos y acciones.”⁴¹

Este paradigma reduccionista se refuerza con la constricción impuesta a la expresión de la actividad neuronal a un solo dispositivo, que únicamente pueden realizar una tarea, a saber: brazos robóticos de trazar líneas verticales, horizontales o diagonales con los colores impuestos al ensamblar la pieza; robots habilitados para trazar líneas horizontales, y un sintetizador capaz de emitir una gama determinada de sonidos; lo cual elimina la posibilidad de conocer si la red neuronal empleado como cerebro del hybrot tiene la cualidad de

⁴¹ Roger Bartra, *Antropología del cerebro* (México: México: Fondo de Cultura Económica, 2007), 172.

plasticidad propia del cerebro humano que da lugar al aprendizaje y permite integrar la experiencia subjetiva compleja que da lugar al arte.

El caso de *cellF* es distinto dada su cualidad análoga libre de programas informáticos que determinen el sonido emitido a partir de la ejecución de su contraparte humana, ante lo cual cabe preguntar si al mismo estímulo humano emitirá el mismo sonido electrónico, o más bien se trata de sonidos armónicos “decididos por” el cerebro biológico del *hybot*. Si se asume que la capacidad para juzgar un sonido como armónico implica plasticidad cerebral en tanto condición para el aprendizaje, podría ser esta una línea que acerque, esta vez sí, a *cellF* con un rockstar humano, como se sitúa Ben-Ary a partir de esta obra.

La cualidad de plasticidad es imprescindible también para la creatividad, uno de los valores fundamentales del arte. En términos generales, la creatividad consiste en establecer conexiones nuevas entre ideas ya existentes dando lugar a la generación de “algo” (idea, proceso, cosa, etc.) que antes no existía, algo original. De ello se deriva que la memoria, también vinculada con la plasticidad, es condición previa para la creatividad, por tanto, sin plasticidad no hay memoria ni creatividad posible. Corroborar o descartar la cualidad de plasticidad en el cerebro de los *hybots* de Ben-Ary es inviable, principalmente porque ello requeriría su funcionamiento en condiciones de laboratorio donde sea expuesto al mismo estímulo de forma reiterada durante un largo periodo de tiempo, así como contar con algún mecanismo para recabar los datos generados durante este proceso.

4. El derecho humano a la no invasión neuronal

El cinco de noviembre del 2021, solo 10 días después de que el neurocientífico argentino Facundo Manes vaticinara que en las próximas décadas “la neuroética será un tema de discusión tan relevante como lo es hoy el cambio climático y la desigualdad en el mundo”,⁴² el senador chileno Guido Girardi, presidente de la Comisión Desafíos del Futuro en este país sudamericano, expuso ante la Conferencia para el Cambio Climático 2021 (COP26) de Glasgow, Escocia, los cinco tópicos en que dicha Comisión considera deben enfocarse las naciones para salvaguardar la salud humana: establecer leyes de etiquetado a productos procesados y contra el desperdicio de alimentos, prohibición de combustibles fósiles a partir del 2030, impulso a mesas de trabajo para desarrollar hidrógeno verde, protección de los neuroderechos, y reemplazo del uso de cemento por madera de bosques nativos en la construcción.⁴³ Así, presentes en una cumbre de relevancia internacional enfocada en el cambio climático, la mayor amenaza a la vida como la conocemos sobre la Tierra, los neuroderechos se perfilan ya como uno de los temas capitales en la agenda mundial.

Girardi es el promotor principal de la iniciativa para incorporar los neuroderechos en la Carta Magna chilena, hito alcanzado el 30 de octubre del presente año (2021) cuando se publicó en su Diario Oficial la ley para modificar el numeral primero del Artículo 19 que garantiza “el derecho a la vida y a la integridad física y psíquica de la persona”,⁴⁴ añadiendo el párrafo que a la letra dice:

⁴² Facundo Manes, “Humanos, demasiado humanos”, *Lo que tú digas* (pódcast), minuto 32:50.

⁴³ Cooperativa.cl, jueves 4 de noviembre de 2021, “Senador Girardi entregó propuestas de Chile en la COP26”, diario Cooperativa.cl versión en línea. Recuperado el 10 de noviembre de 2021. <https://www.cooperativa.cl/noticias/sociedad/medioambiente/senador-girardi-entrego-propuestas-de-chile-en-la-cop26/2021-11-04/190707.html>

⁴⁴ Constitución Política de la República de Chile, aprobada el 21 de octubre de 1980. https://www.camara.cl/camara/doc/leyes_normas/constitucion_politica.pdf Recuperado el 10 de noviembre de 2021.

El desarrollo científico y tecnológico estará al servicio de las personas y se llevará a cabo con respeto a la vida y a la integridad física y psíquica. La ley regulará los requisitos, condiciones y restricciones para su utilización en las personas, **debiendo resguardar especialmente la actividad cerebral, así como la información proveniente de ella**".⁴⁵

La noción de neuroderechos es impulsada por el científico español-estadounidense Rafael Yuste, ideólogo de la BRAIN Initiative (*Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*) de los Estados Unidos y presidente de la NeuroRights Foundation, organización sin fines de lucro enfocada en "proteger los derechos humanos de todas las personas ante el potencial mal uso o abuso de la neurotecnología",⁴⁶ dado el grado de desarrollo alcanzado en la actualidad tanto por el conocimiento de la anatomía y fisionomía cerebral como por las tecnologías para intervenirlo y manipularlo, él mismo afirma:

Las técnicas que se están desarrollando en relación con nuestro proyecto (BRAIN Initiative), las cuales sirven para descifrar y alterar la actividad de las neuronas, son cada vez mejores. Por ello, las consecuencias de utilizarlas resultan cada vez más serias. Por un lado, pueden ofrecer una mayor y mejor ayuda a los pacientes, pero también pueden usarse de maneras que no sean beneficiosas para la humanidad. Estamos viendo, y vemos venir, situaciones en las que las personas se encuentran desprotegidas ante el uso pernicioso de estas técnicas. Debemos hacer algo, porque no tenemos reglas o directrices para su utilización. En este caso, la técnica va por delante de la sociedad.⁴⁷

⁴⁵ Diario Oficial de la República de Chile (2021, 25 de octubre). Ley número 21.283 por la cual se modifica la Carta Fundamental, para establecer el desarrollo científico y tecnológico al servicio de las personas. <https://www.diariooficial.interior.gob.cl/publicaciones/2021/10/25/43086-B/01/2031873.pdf> Recuperado el 10 de noviembre de 2021. (Las negritas son mías)

⁴⁶ "NeuroRights Foundation", acceso el 10 de noviembre de 2021, <https://neurorightsfoundation.org/mission> (La traducción es mía)

⁴⁷ Rafael Yuste en entrevista con Viosca Ros, José, "Necesitamos neuroderechos universales", *Investigación y Ciencia*, (julio – agosto), versión en línea. <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/mente-y-cerebro/resiliencia-741/necesitamos-neuroderechos-universales-16560> Recuperado el 10 de noviembre de 2021.

Desde su fundación, Yuste busca que organismos internacionales como Naciones Unidas o el Parlamento Europeo, conformen una “comisión para abordar el problema de las orientaciones éticas para la neurotecnología y la inteligencia artificial”,⁴⁸ una de cuyas primera acciones debería ser, a su parecer, incorporar en la Declaración Universal de los Derechos Humanos (DUDH) los neuroderechos para salvaguardar cinco aspectos relacionados con el cerebro de las personas, a saber:⁴⁹

- Privacidad mental. La privacidad de cualquier neurodato obtenido de la medición de la actividad neuronal debe ser resguardada. En caso de almacenarse, debe existir el derecho a eliminarlos a petición de la persona. La venta, transferencia comercial y uso de datos neuronales deben estar estrictamente regulados.
- Identidad personal. Es necesario establecer límites para prohibir que la tecnología altere el sentido del yo. Cuando la neurotecnología conecte individuos con redes digitales, podría desdibujarse la línea que separa la conciencia de una persona de las aportaciones tecnológicas externas.
- Libre albedrío. Las personas deben tener control último sobre su propia toma de decisiones, sin ningún tipo de manipulación desconocida proveniente de neurotecnologías externas.
- Acceso igualitario al aumento de la neurocognición (*mental augmentation*). Deben establecerse directrices tanto a nivel internacional como nacional que regulen el uso de

⁴⁸ *Ibíd.*

⁴⁹ NeuroRights Foundation, acceso el 10 de noviembre de 2021, <https://neurorightsfoundation.org/mission> (La traducción es mía)

las neurotecnologías de mejora mental. Estas directrices deberían basarse en el principio de justicia, así como garantizar la igualdad de acceso.

- Protección contra la desigualdad. Las contramedidas para combatir la desigualdad deberían ser la norma para los algoritmos en neurotecnología. El diseño de estos algoritmos debe incluir las aportaciones de los grupos de usuarios para abordar la desigualdad de manera fundamental.

La DUDH fue firmada en 1948, al menos cuatro décadas antes de que diera inicio la era de inversiones multimillonarias en la investigación en neurociencias, ante lo cual resulta natural que su texto original no haga referencia a la información neuronal o la identidad a nivel cerebral. Las primeras inversiones por parte de las naciones más poderosas destinadas a proyectos de investigación enfocados en el estudio del cerebro humano fueron inauguradas por la Década del Cerebro, denominación otorgada por el Congreso de los Estados Unidos al periodo comprendido entre el primero de enero de 1990 hasta el 31 de diciembre de 1999, durante el cual esta nación destinó miles de millones de dólares a investigaciones en neurociencias. La iniciativa fue retomada por otros gobiernos dando lugar al menos a cuatro programas de inversión similares: el Blue Brain Project en Suiza (2005 a la fecha), la mencionada BRAIN Initiative en Estados Unidos (2013 a la fecha), el Human Brain Project de la Unión Europea (pensada para 10 años a partir del 2013), y el China Brain Project de aquella nación oriental (proyectada para 15 años a partir del 2016).

La incorporación de garantías individuales a documentos internacionales como la DUDH derivados de las innovaciones en el ámbito científico y tecnológico no es un hecho sin precedentes. Cuando se elaboró el texto original la genética molecular tenía apenas ocho años en la mente de las personas de ciencia y el modelo de doble hélice tridimensional del

ADN de Francis Crick y James Watson tardaría aún cinco años en ser formulado (1953), no obstante, desde las etapas iniciales del Proyecto Genoma Humano a mediados de la década de los ochenta ya se organizaban en la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) debates para discutir en torno a “los problemas que implicaría el uso de la información genética en el campo de los derechos humanos y tratar de resolver los dilemas éticos, sociales y jurídicos del mismo”.⁵⁰ El esfuerzo permanente por parte de este organismo internacional para establecer pautas éticas que regulen la investigación e innovación en ámbitos como medicina, ciencias de la vida y tecnologías relacionadas, considerando las dimensiones social, jurídica y ambiental dieron lugar al Primer Encuentro de Cooperación Internacional para el Proyecto Genoma Humano, en 1989, al cual seguiría la Declaración Universal del Genoma Humano y los Derechos Humanos, en 1997, así como la Declaración Internacional de los Datos Genéticos Humanos, en 2003; hasta llegar a la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos, una serie de principios fundamentales de bioética, firmada el 19 de octubre del 2005.⁵¹

El artista Max de Esteban no erra al afirmar “todo aquello que pueda hacerse, será hecho (...), la tecnología hará todo cuanto sea factible con independencia de cualquier otra consideración”,⁵² horizonte frente al cual la neuroética se dibuja como timón para guiar (más que corregir) el rumbo a tomar por las aplicaciones de los avances en el estudio del cerebro así como reflexionar en torno a sus implicaciones para los derechos humanos y no-humanos,

⁵⁰ Juan Carlos Velázquez Elizarrarás, “El derecho internacional ante los desafíos del genoma humano y la bioética, en el marco de la organización y las declaraciones internacionales. Su proyección al derecho mexicano, *Anuario Mexicano de Derecho Internacional* (2008): 441-483. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-46542008000100011

⁵¹ *Ibíd.*

⁵² Max de Esteban “A Forest”, MUAC-Sala 10, video, minuto 11:30 a 12:40, consultado el 11 de agosto de 2021, <https://muac.unam.mx/exposicion/sala10-max-de-esteban>

por eso afirma Facundo Manes, “es importante que las personas conozcan estos temas porque vamos a tener que decidir como sociedad, más allá de los expertos, qué hacemos con los avances [resultantes] de estudiar nuestra mente. Por ejemplo, es posible que en algunas décadas y con la tecnología, se pueda acceder a información privada que hasta hace tiempo parecía inaccesible, como nuestros pensamientos o sueños”.⁵³

¿Qué es “todo aquello que pueda hacerse”? Todo cuanto podamos imaginar. Si bien los objetivos de investigaciones cobijadas en iniciativas como BRAIN se orientan hacia aplicaciones médicas relacionadas con condiciones como la epilepsia, el Alzheimer, el Parkinson, o alteraciones del estado de ánimo (ansiedad y depresión, entre otros), sus resultados son sumamente valorados en industrias con fines más cuestionables, como la militar. En Estados Unidos, por ejemplo, la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) invierte millones de dólares anuales en investigación avanzada en ciencias del cerebro, tan solo en el presupuesto del presente año (2021) se asignaron más de 50 mil millones de dólares a proyectos en este rubro,⁵⁴ algunos de los cuales se vinculan tanto con los trabajos de Ben-Ary como con los neuroderechos promovidos por Yuste.

El primero de estos proyectos de investigación financiados por el gobierno estadounidense tiene como objetivo crear “plataformas neurotecnológicas” que permitan al personal militar procesar grandes volúmenes de datos desde una perspectiva compleja con gran precisión y velocidad, es decir, se busca establecer una interfaz que comunique el cerebro humano *in vivo* con dispositivos computacionales para trabajar con información de manera conjunta.⁵⁵ Con excepción de *cellF*, que es una entidad análoga, los *hybrots* revisados

⁵³ Facundo Manes, “Humanos, ...”, minuto 32:00 a 33:30.

⁵⁴ Defense Advanced Research Projects Agency. *Department of Defense Fiscal Year 2021 Budget Estimates*. (Febrero, 2020). <https://www.darpa.mil/about-us/budget> Recuperado el 11 de noviembre de 2021.

⁵⁵ *Ibíd.*, 76.

en este texto se basan en una interfaz entre el cultivo neuronal y el cuerpo robótico a través de la cual establecen un circuito de retroalimentación bidireccional. El neuroderecho a la identidad personal advierte el riesgo para la conciencia individual de “interfazar” el cerebro *in vivo* con redes digitales que podría borrar sus propios límites, alterando su identidad. El aumento de la capacidad cognitiva que supone contar con redes digitales funcionando en conjunto con las redes neuronales humanas supone también una ventaja de estas personas frente a otras cuya actividad neuronal sea puramente biológica, factores que contribuirán a una nueva forma de segregación.

En el mismo sentido, las aplicaciones de la tecnología para mejorar la plasticidad financiados en DARPA encaminadas a mejorar el aprendizaje y la retención de conocimientos a largo plazo a través de la estimulación nerviosa y dispositivos neuronales no invasivos⁵⁶ podrían incrementar la desigualdad no solo entre países pobres y ricos, sino incluso entre los propios países con mayor potencial económico, con las implicaciones para la estabilidad política internacional derivadas y sus consecuencias sobre la calidad de vida de las personas. De acuerdo con Ben-Ary, los cultivos neuronales utilizados como cerebro de los *hybrots* tienen la cualidad de plasticidad, en el sentido de que pueden reconfigurarse a partir de la experiencia, tal como sugiere su obra *Snowflake*, una red neuronal cultivada *in vitro* expuesta una y otra vez al estímulo producido por la imagen de un copo de nieve bajo la premisa de que ello dejaría grabada esta figura en la red dada su cualidad de neuroplasticidad.

Un proyecto más de DARPA relacionado con interfaces neuronales busca desarrollar neurotecnología para restaurar la función auditiva y visual de personas que hayan visto

⁵⁶ *Ibíd.*, 161.

afectadas estas capacidades durante los despliegues militares, que pueda emplearse, además, para mejorar su desempeño físico y cognitivo⁵⁷ o aumentar la neurocognición, como lo llama Yuste en el neuroderecho para el acceso igualitario a este tipo de tecnologías. Los descubrimientos e innovaciones resultantes de estos proyectos habrán de ser observados de cerca para evitar su utilización como herramienta de manipulación a nivel neuronal sin consentimiento de las personas implicadas.

Otro de los desarrollos en que se centra la investigación en neurociencias referida es la tecnología neuroadaptativa para la detección y monitoreo de la actividad neuronal en tiempo real, lo cual permitirá correlacionar la función de las neuronas *in vivo* con el comportamiento humano.⁵⁸ Los tres *hybrots* revisados en este trabajo expresan en forma de líneas o sonidos la actividad eléctrica de las redes neuronales en la placa MEA detonada luego de la interacción con los estímulos externos, bien se trate de una imagen, como en *MEART*, el tránsito de las personas en el espacio de exhibición, trazado por los robots en *Silent Barrage*, o un sonido, que es el caso de *cellIF*. ¿Cómo garantizar la privacidad de los datos obtenidos al medir la actividad neuronal como señala otro de los neuroderechos? En el hipotético caso de que los *hybrots* registrasen los datos de la actividad eléctrica en la placa MEA, ¿serían propiedad de Ben-Ary o quién contaría con la autorización para explotarlos? El artista también expresa estas dudas, aunque con matices:

Lo que también quiero decir con “cuerpo extendido” es que muchas personas podrían venir y apropiarse o usar mis células, mi material biológico, para otro tipo de fines. Por ejemplo, Stuart [Hodgetts] me pregunta si puede usar mis células para uno de sus proyectos de investigación. Y para mí no representa ningún problema, abro el refrigerador y se las doy aún cuando podría pensar que

⁵⁷ *Ibíd.*, 76.

⁵⁸ *Ibíd.*, 81.

es mi cuerpo extendido el que está siendo examinado o manipulado con otro propósito por una persona que tiene una agenda científica muy clara, pero no representa un conflicto para mí.

Es por eso que no hablo de “mi cuerpo” sino de mi “cuerpo extendido”, que son cosas distintas. Sé que las células que tengo congeladas son parte de mi cuerpo, pero más bien las veo como parte de mi cuerpo extendido. Mi existencia ahora mismo es más grande que yo porque existo en diferentes laboratorios alrededor del mundo.⁵⁹

Desde la perspectiva de Ben-Ary, el empleo de biotecnologías para la creación artística es un acto político que exige (o debería exigir) al artista asumir un punto de vista crítico ante las tecnologías empleadas en sus obras, siempre con respeto hacia la materia biológica que forme parte de éstas, así como fomentar la reflexión sobre sus aplicaciones, posibilidades y zonas oscuras.⁶⁰ A través de sus obras busca cerrar la brecha entre el conocimiento de las personas del ámbito científico y el “mundo real”, donde “se difunde y entiende muy poco sobre lo que la ciencia actual está haciendo. Aún cuando se valora mucho el trabajo científico, el saber de las personas está en el extremo opuesto.” Desde su punto de vista, cuando información producida por la comunidad científica de alto nivel traspasa esta esfera y llega al gran público se presenta “disfrazada de investigaciones para usos humanos como la medicina regenerativa o cualquier otro interés humano, como una especie de justificación velada para trabajar con animales o hacer cualquier cosa en los laboratorios”.⁶¹ Es en buena medida por ello que no podemos dejar la discusión en torno de las neurotecnologías en “manos de científicos y políticos profesionales”, como afirmaba la filósofa alemana Hannah Arendt a mediados del siglo pasado.⁶²

⁵⁹ *Ibíd.*, 78.

⁶⁰ Guy Ben-Ary, en conversación con el artista, junio 16 de 2019.

⁶¹ Nathan Thompson, en conversación con el artista, junio 26 de 2019.

⁶² Hannah Arendt, *La condición humana*, (Chicago: University of Chicago Press, 1958; México: Paidós, 2016), 15. La cita es de la edición de Paidós.

En el mismo documento presupuestal del Departamento de Defensa estadounidense antes mencionado, cada uno de los proyectos de investigación financiados con fondos federales tiene aplicaciones médicas en primer plano, como la atención de desórdenes mentales degenerativos, alteraciones del estado de ánimo o atención médica oportuna; y aunque mencionan algunas otras cuyo objetivo es el mejoramiento cognitivo sin la existencia de una condición médica pre-existente, son las menos. El documento consultado contiene únicamente información desclasificada, precisamente la que llega al gran público con el sesgo del bienestar antropocéntrico.

Por su parte, la comunidad científica tiene su propio sesgo al interior trazado por una larga tradición positivista enfocada en medir y cuantificar la realidad, en obtener datos lo más independientes que sea posible de los afectos individuales para generar conocimiento confiable, válido, generalizable. Como cualquier otro rasgo de la personalidad, esta tendencia a observar la realidad en términos cuantificables permea toda interacción de la persona con su medio, dificultando el establecimiento de un vínculo emocional con el objeto de estudio, como ha observado el artista Nathan Thompson durante las presentaciones: “Cuando participamos en foros, la gente de ciencia se sorprende o se frustra porque *cellF* no solo no recolecta datos, algo que ya es decir bastante [para lo que ven como un experimento científico], sino que no los produce, porque es análogo”,⁶³ en cambio, cuando dan conciertos para público ajeno a la esfera científica nadie se interesa por los datos sino que indagan su funcionamiento o el problema que representan, cuando no se quedan en un silencio estupefacto, como pude corroborar durante las charlas que Thompson ofrece a grupos de estudiantes en el museo de ciencias Scitech, en Perth, Australia. Ben-Ary comparte esta visión del público científico obsesionado con conocer los datos generados por el cultivo neuronal en el sintetizador

⁶³ Nathan Thompson, en conversación con el artista, junio 26 de 2019.

durante los conciertos sin tomar en cuenta que no se trata de un proyecto científico ni se encuentra en un espacio controlado.

Una de las cosas que más me preguntan en relación con *cellF* es por los datos. Aún cuando saben que no es un proyecto científico, siempre me preguntan por los datos. Para mí resulta interesante ver los cambios en el comportamiento de las neuronas como resultado de la estimulación, los cambios en la plasticidad y todo este tipo de fenómenos. Por otro lado, no hay manera de obtener datos porque nosotros no trabajamos de manera científica: el ambiente en que la pieza funciona es muy ruidoso, no es un laboratorio, sino que se trata de galerías o museos; es todo hardware, no tiene software, por lo tanto, no tiene un programa para grabar los datos. La única oportunidad que tienes para generar datos es durante las presentaciones, pero no puedes hacer un experimento científico con datos que has obtenido durante un concierto.⁶⁴

La percepción de Thompson y Ben-Ary podría confirmarse con la presentación que de sí mismo compartió el científico japonés Yun Wah Lam, profesor asociado al Departamento de Química de la City University of Hong Kong, quien identifica en su encuentro con la conjunción arte y ciencia un claro parteaguas en su vida tanto académica como personal, llevándolo a describir su personalidad en aquella “vida pasada” en cinco adjetivos: “reduccionista, mecanicista, materialista y arrogante (y un poco misógino)”⁶⁵ (figura 15). Al mismo tiempo, el paradigma positivista del quehacer científico y su marcada relación con la idea del progreso humano es cada vez más una camisa de fuerza que reduce, por no decir que anula, los espacios para la libre experimentación, como ocurría, por ejemplo, durante el Renacimiento, sin la exigencia de producir conocimiento con aplicaciones (médicas) inmediatas, como apunta el mismo Wah cuando explica que su universidad se negó a

⁶⁴ Guy Ben-Ary, en conversación con el artista, junio 16 de 2019.

⁶⁵ Yun Wah Lam, “Life is a mess...”.

considerar la estancia en SymbioticA como parte de sus actividades académicas argumentando que la investigación a realizar carecía de vínculos con sus líneas de trabajo y objetivos teóricos claros, además de solicitarse en un laboratorio de arte, no de ciencia.⁶⁶

En correspondencia con la inquietud de Wah por acudir a SymbioticA para experimentar con libertad, es ésta la cualidad más valorada por las personas que acuden a este laboratorio, incluso de la misma Universidad, para intercambiar ideas si bien del ámbito científico, impregnadas de la esencia afectiva del arte, que Ben-Ary expresa como sigue:

Una de las mejores cosas en el arte es que podemos cuestionar y plantear preguntas a las personas. Es decir, tú puedes ir a la galería y encontrarte con algo que cambia tu vida, algo que te hace pensar, y lo estás haciendo a través de una pieza de arte, de una pieza de arte que está vivo, entonces abres la conversación. Son el tipo de cosas que pueden influir en tu personalidad de una manera más intensa. Con el arte puedes abrir todas las preguntas y hacer prácticamente todo. Y no es que como artistas hagamos todo, en realidad todos estamos siendo partícipes, estamos tratando de brindar una experiencia a las personas a partir de la que puedan dialogar más y con un entendimiento más amplio sobre lo que está pasando para que puedan tener una mejor conversación, un mejor análisis.⁶⁷

El científico español Santiago Ramón y Cajal (1852 – 1934) es considerado el padre de la neurociencia por sus descubrimientos sobre la estructura del cerebro, mismos que lo hicieron acreedor, junto con Camillo Golgi (1843 – 1926), al Premio Nobel de Medicina en 1906, cuyos icónicos dibujos de las neuronas y la estructura de la corteza cerebral, primeros en la historia, dijo alguna ocasión en relación con la plasticidad neuronal: “cada hombre puede, si lo desea, ser escultor de su propio cerebro”. Nunca como ahora esta frase ha resultado tan

⁶⁶ Yun Wah Lam, en conversación con el científico durante la estancia de investigación en SymbioticA, junio 28 de 2019, Perth, Australia.

⁶⁷ *Ibíd.*, junio 19.

literal en su materialidad, como dejan claro las neurotecnologías involucradas en las obras de Guy Ben-Ary y, paradójicamente, en las investigaciones militares aquí abordadas. ¿Qué cerebros queremos esculpir y bajo qué pautas éticas? ¿Quién habrá de decidirlo y quién velará por su cumplimiento? ¿De qué manera nos haremos cargo como sociedad del rumbo a seguir por las investigaciones en los ámbitos relacionados con la neurotecnología y otras ciencias del cerebro, sus aplicaciones en cualquier esfera y las implicaciones éticas, sociales y jurídicas asociadas?

Conclusiones

Abordar las obras de Guy Ben-Ary en relación con los neuroderechos, desde la perspectiva de la historia del arte me ha permitido explorar la trascendencia del conocimiento cargado de afectividad que puede generar una obra de arte, a diferencia del saber positivista fincado en lo objetivo y la racionalidad propios de las publicaciones científicas en revistas de alto impacto, así como de las estrategias ampliamente difundidas para divulgación de la ciencia. El mismo saber, la misma información, motiva reacciones distintas de acuerdo con la forma en que se expone a las personas, como en el caso de las posibles aplicaciones de las interfaces neuronales o el registro de la actividad eléctrica cerebral en tiempo real, que utiliza Guy Ben-Ary en todos sus *hybrots* y que causan una impresión especial en las personas al experimentarlas en forma de arte, convocando una experiencia estética que difícilmente tendría lugar ante un experimento equivalente en un ambiente controlado de laboratorio.

No es la capacidad para ensayar y errar de forma sistemática lo que nos distingue de los animales no-humanos ni de las máquinas no-biológicas que conocemos hasta ahora, sino la capacidad para la experiencia estética y la creación de conocimiento, que no se contraponen.

Como metodología, la historia del arte permite estudiar la relación entre el patrimonio cultural y las fuerzas que lo atraviesan, como lo es la necesidad de salvaguardar la integridad neuronal en una época cuando tecnologías aparentemente no vinculadas con la manipulación neuronal, como las redes sociales digitales, alteran el correcto funcionamiento del cerebro.⁶⁸

⁶⁸ Redacción. (8 de noviembre de 2021), "Tik Tok podría producir tics nerviosos; médicos del mundo estudian casos de exposición a videos.", *Aristegui Noticias*, portal de noticias en línea. <https://aristeguinoicias.com/0811/kiosko/tiktok-podria-producir-tics-nerviosos-medicos-del-mundo-estudian-casos-de-exposicion-a-videos/> Recuperado el 7 de noviembre del 2021.

En otro sentido pero siempre en relación con el objeto de estudio de este texto, hago eco de las “ausencias fundamentales de marcos teóricos y epistémicos” identificadas por López del Rincón, “que permitan comprender una manifestación artística genuinamente contemporánea, como es el caso del bioarte, como parte del arte contemporáneo en virtud de la profunda separación existente entre el ámbito del arte y las nuevas tecnologías y el arte contemporáneo canónico, dos esferas que discurren paralelas en su producción, exhibición y recepción crítica generando mundos artísticos que escasamente convergen”.⁶⁹ Confío en que el presente trabajo puede ser una aportación a la comprensión del bioarte que contribuya a acreditar su “contribución teórica a los discursos críticos”, llamado que hace el historiador del arte Edward A. Shanken a sus colegas: “Los monumentos y documentos históricos de Arte, Ciencia y Tecnología continuarán siendo excluidos del canon de la historia del arte y de la historia intelectual a no ser que se acredite su contribución teórica a los discursos críticos. Si los historiadores del arte no tienen éxito en esta tarea, nadie lo tendrá”.⁷⁰

En este sentido, considero pertinente aventurar la propuesta de contar con un seminario permanente en la UNAM para estudiar el fenómeno del bioarte desde una perspectiva interdisciplinaria que permita el intercambio de ideas, la reflexión conjunta y el compartir conocimiento no solo con la comunidad estudiantil sino, quizá sobre todo, entre el cuerpo docente de posgrados como este, en Historia del Arte, en donde es común encontrar un profundo desconocimiento (e incluso, desinterés) por abordar estos temas en seminarios, discusiones y conversaciones en pasillos. Participar en reflexiones con perspectivas interdisciplinarias en torno a cuestiones de trascendencia mundial contemporánea (y

⁶⁹ López del Rincón, *Bioarte...*, 8.

⁷⁰ Edward A. Shanken, “Historicizing Art and Technology: Forging a Method and Firing a Canon”, en López del Rincón, *Bioarte...*, 145.

futurista, en un tiempo en que existen “comisiones de futuro” en los gobiernos) relacionadas con la neuroética y la neurotecnología es un asunto de primer orden para disciplinas enmarcadas en las humanidades si pretenden contribuir al cambio de paradigmas que impone el conocimiento sobre el cerebro y las aplicaciones de este saber para fines que podrían vulnerar derechos humanos fundamentales apenas imaginados. El cuerpo extendido al cual podemos aspirar ha de implicar una extensión de los derechos que lo salvaguardan.

Fuentes consultadas

- Arendt, Hannah. *La condición humana*. México: Paidós, 2016. Publicado por primera vez en 1958 por The University of Chicago Press.
- Bartra, Roger. 2007. *Antropología del Cerebro*. México: Fondo de Cultura Económica – Pre-Textos.
- Braidotti, Rosi y Hlavajova, Maria (eds.). 2018. *Posthuman Glossary*. Londres: Bloomsbury Academic.
- Chávez, Helena. 2018. *Insistir en la política. Rancière y la revuelta de la estética*. México: UNAM-Instituto de Investigaciones Estéticas.
- Clynes E., Manfred y Kline S. Nathan. 1960. “Cyborgs and Space”. *Astronautics* 26 (septiembre): 74-76.
- Bakkum, Douglas J., Gamblen, Philip M., Ben-Ary, Guy, Chao, Zenas C. y Potter, Steve M. 2007. “MEART: The semi-living artist”, *Frontiers in Neurorobotics*, 1-5, doi: 10.3389/neuro.12/005.2007
- Ben-Ary, Guy. 2018. “Matters of Liveliness and Other Absurd Scenarios”. Conferencia presentada en CTM Festival, Berlín, Alemania, 2 de febrero. <https://www.youtube.com/watch?v=uOkNkoTn29Y&t=485s>
- 2014. “Questioning life”, *Nature Nanotechnology* 14: 405. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0444-8>.
- Delannoy, Luc. 2015. *Neuroartes, un laboratorio de ideas*. Santiago de Chile: ediciones/metales pesados.

- Harman, Graham. 2015. *Hacia el realismo especulativo. Ensayos y conferencias*. Argentina: Caja Negra Editora.
- Hauser, Jens. 2003. *L'art biotech'*. Francia: Filigranes Éditions.
- Iglesias, Ricardo. 2016. *Arte y robótica. La tecnología como experiencia estética*. Madrid, España: Casimiro.
- Kluszczyński, Ryszard W. (Ed.). 2015. *Guy Ben-Ary: Nervoplastica. Bio-robotic art and its cultural contexts*. Gdansk, Polonia: Centro de Arte Contemporáneo de Laznia.
- Lane, Nick. 2015. *Los diez grandes inventos de la evolución*. México: Ariel.
- Lam, Yun Wah. 2019. "Life is a mess: towards a "Gene-Eccentric" and post-teleological discourse in bio-art". Conferencia presentada durante las *Charlas de los viernes*, SymbioticA, Universidad del Oeste de Australia, 28 de junio.
- Lazcano, Antonio. 2019. "¿Qué es la vida?". Conferencia del ciclo *Diálogos por la Bioética*, Programa Universitario de Bioética, UNAM, México, marzo.
<https://descargacultura.unam.mx/que-es-la-vida-7100461>
- López del Rincón, Daniel. 2015. *Bioarte. Arte y vida en la era de la biotecnología*. Madrid, España: Akal.
- Mancuso, Stefano. 2017. *El futuro es vegetal*. Barcelona: Galaxia Gutemberg.
- Mitchel, Robert. 2010. *Bioart and the vitality of media*. Estados Unidos: University of Washington Press.
- Mitchell, W. J. Thomas. "The Work of Art in the Age of Biocybernetic Reproduction." *Modernism/modernity* 10, no. 3 (2003): 481-500. doi: 10.1353/mod.2003.0067.
- Mitchell, W. J. Thomas. 2021. "El bosque biocibernético. Max de Esteban, la IA y la iconología del pensamiento". Texto a propósito de la exposición virtual: *Sala 10: Max*

de Esteban, A Forest. MUAC, UNAM. <https://muac.unam.mx/exposicion/sala10-max-de-esteban>

Naciones Unidas. 1992. *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Ginebra: Naciones Unidas. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>

Shi, Yanhong; Inoue, Haruhisa; Wu, Joseph C. y Yamanaka, Shinya. 2017. “Induced pluripotent stem cell technology: a decade of progress”, *Nature Reviews Drug Discovery* 16: 115-130, <https://www.nature.com/articles/nrd.2016.245>

Potter, Steve M., DeMarse, T., D. Bakkum, M. C. Booth, J. Brumfield, Z. Chao, R. Madhavan, Peter A. Passaro, Komal Rambani, Alexander C. Shkolnik, R. Blythe and D. Wagenaar. 2004. “Hybrot: hybrid of living neurons and robots for studying neural computation” *Brain Inspired Cognitive Systems* 29 (agosto septiembre): 2-6. https://www.researchgate.net/publication/237470133_HYBROTS_HYBRIDS_OF_LIVING_NEURONS_AND_ROBOTS_FOR_STUDYING_NEURAL_COMPUTATION

Thomas B. DeMarse, Daniel A. Wagenaar y Steve M. Potter, 2001. “The Neurally Controlled Animat: Biological Brains Acting with Simulated Bodies”. *Autonomous robots*, 11: 305–310. doi:10.1023/a:1012407611130

Velázquez E., Juan C., 2008. “El derecho internacional ante los desafíos del genoma humano y la bioética, en el marco de la organización y las declaraciones internacionales. Su proyección al derecho mexicano”. *Anuario Mexicano de Derecho Internacional*, 441–483. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-46542008000100011

Figuras

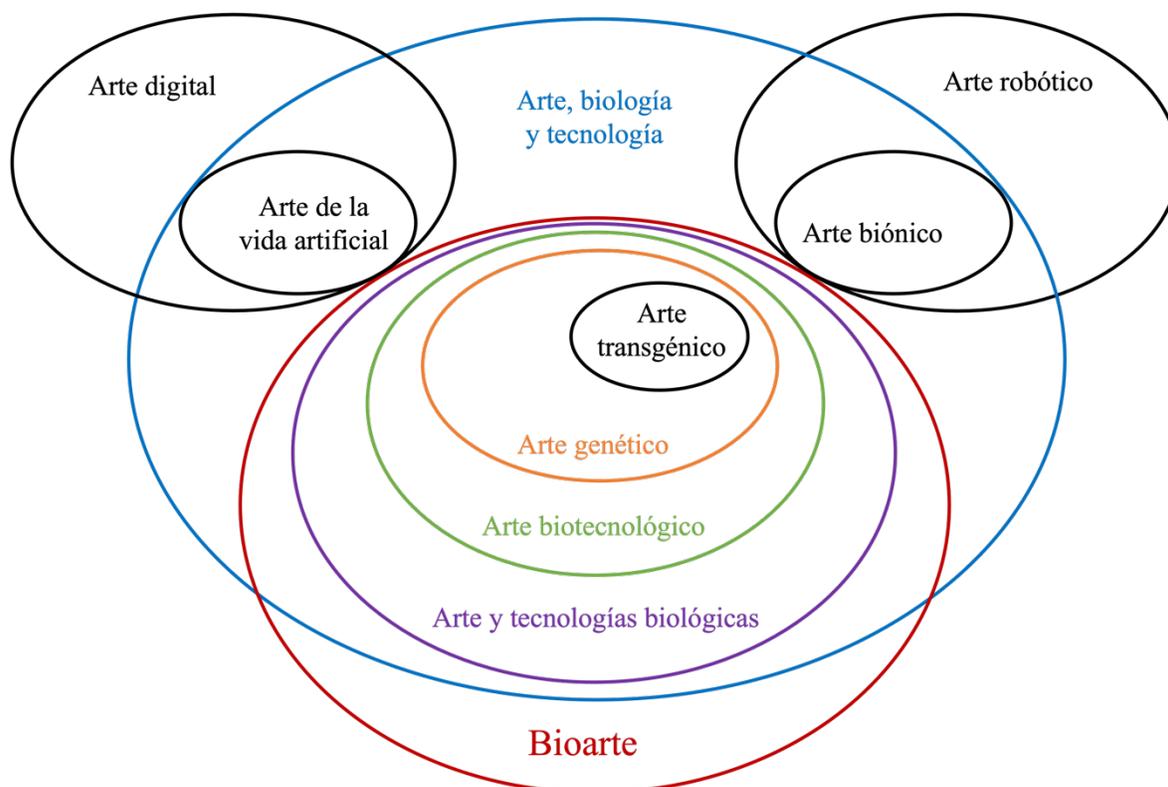


Figura 1. Terminología y ámbitos artísticos implicados en el bioarte. Tomado de Daniel López del Rincón, *Bioarte. Arte y vida en la era de la biotecnología*. (Los colores son incorporación mía para facilitar la distinción entre cada ámbito.)



Figura 2. *Multi-electrode array* (MEA). Tomada de Steve M. Potter Lab, “Multielectrode Arrays For Stimulating And Recording Mammalian Neurons”, página web del Georgia Institute of Technology, <https://potterlab.gatech.edu/labs/potter/meas/>, recuperada el 10/07/2021.

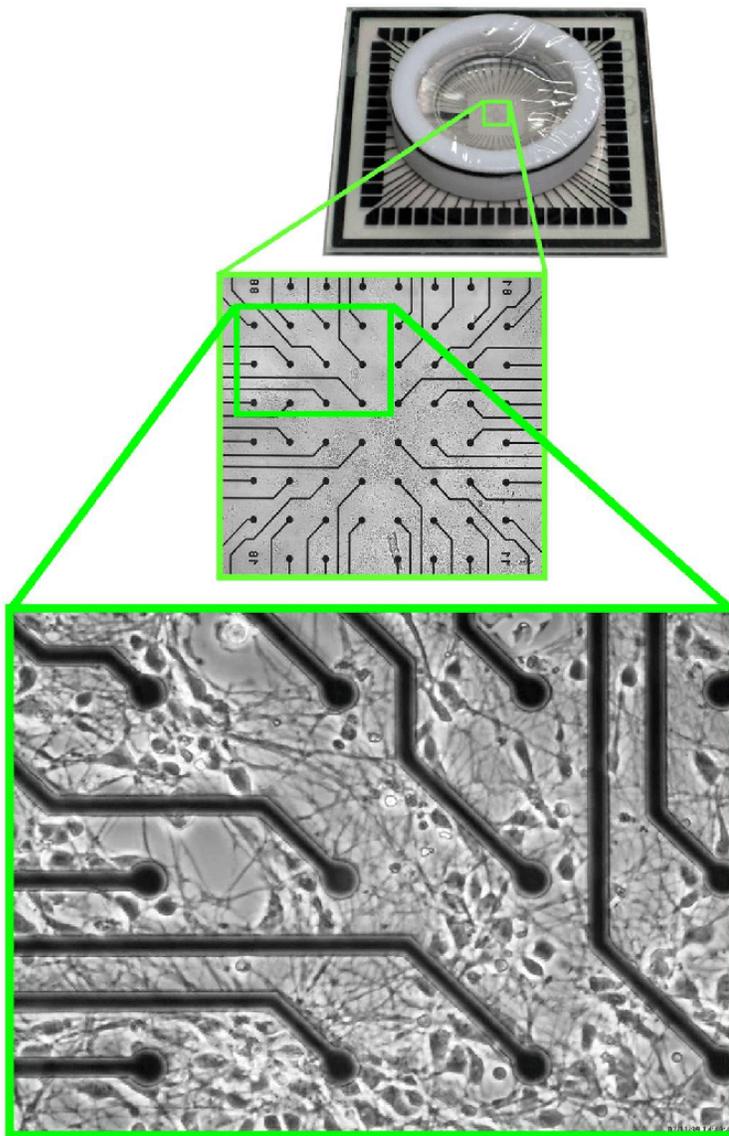


Figura 3. Detalle de los electrodos en la superficie de la placa MEA. En la imagen inferior es posible observar las células corticales vivas, pequeños puntos rodeados por un halo blanco. Tomada de Chao, Zenas C., “Toward The Neurocomputer: Goal-Directed Learning In Embodied Cultured Networks.” (tesis doctoral, Georgia Institute of Technology, 2007), 4, https://www.researchgate.net/publication/27535211_Toward_the_neurocomputer_goaldirected_learning_in_embodied_cultured_networks, recuperada el 13/09/2021

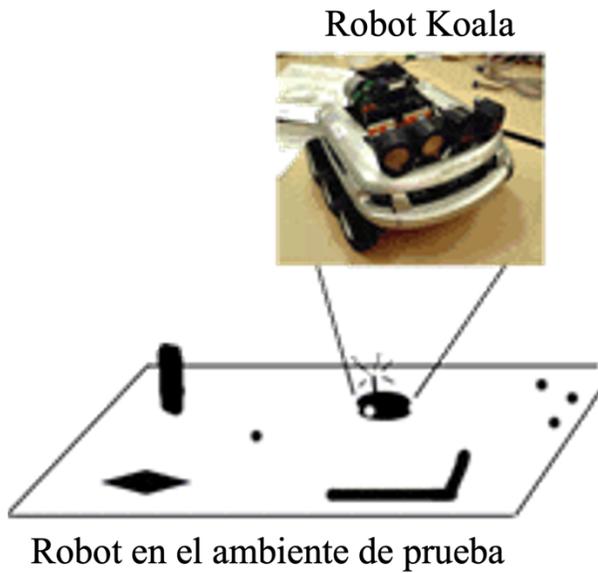


Figura 4. Componentes de Koala y representación del ambiente de prueba. Tomada de Steve M. Potter Lab, “Neurally Controlled Animats”, página web del Georgia Institute of Technology, <https://potterlab.gatech.edu/labs/potter/animat/>, recuperada el 13/09/2021 (la traducción es mía).

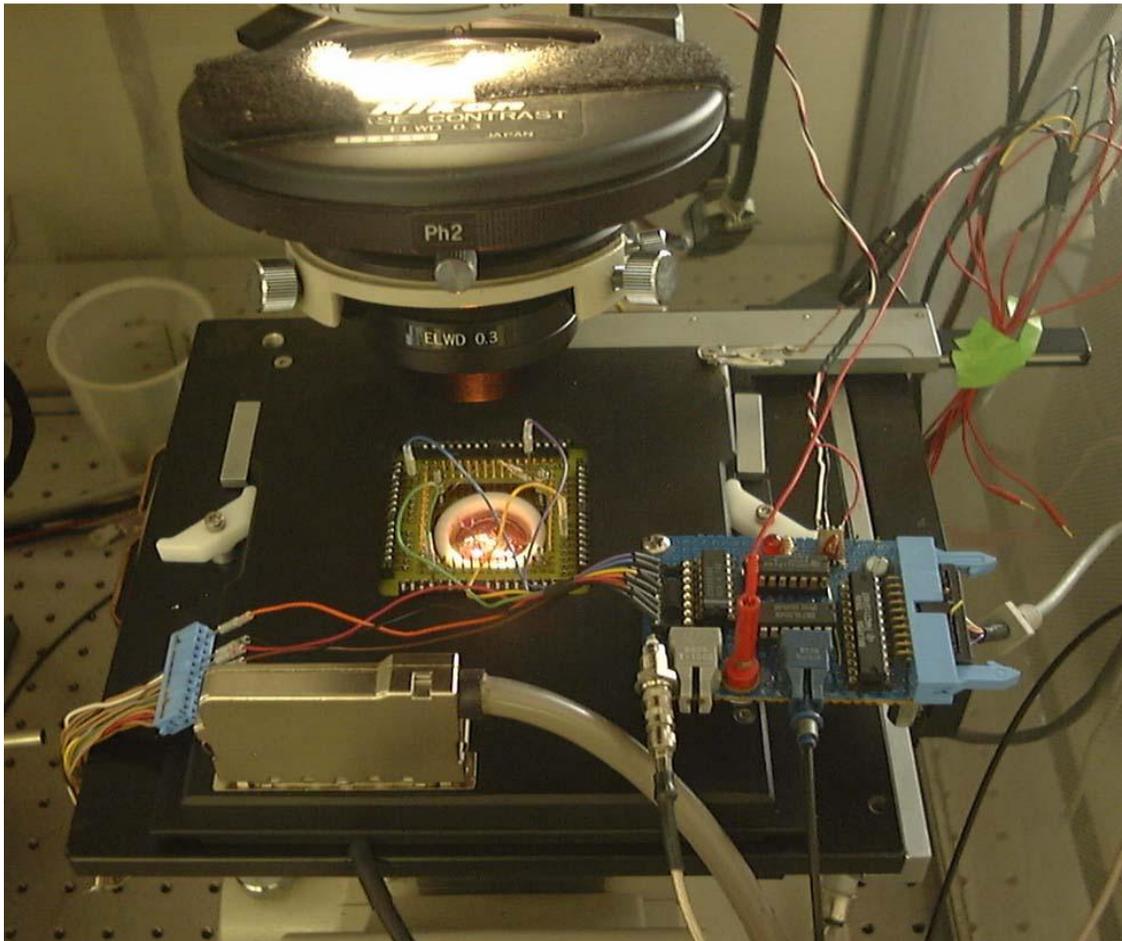


Figura 5. Cerebro de *MEART* en el laboratorio de Steve Potter. Tomada de GuyBenAry.com: <http://guybenary.com/work/meart/#Gallery>, recuperada el 10/07/2021.

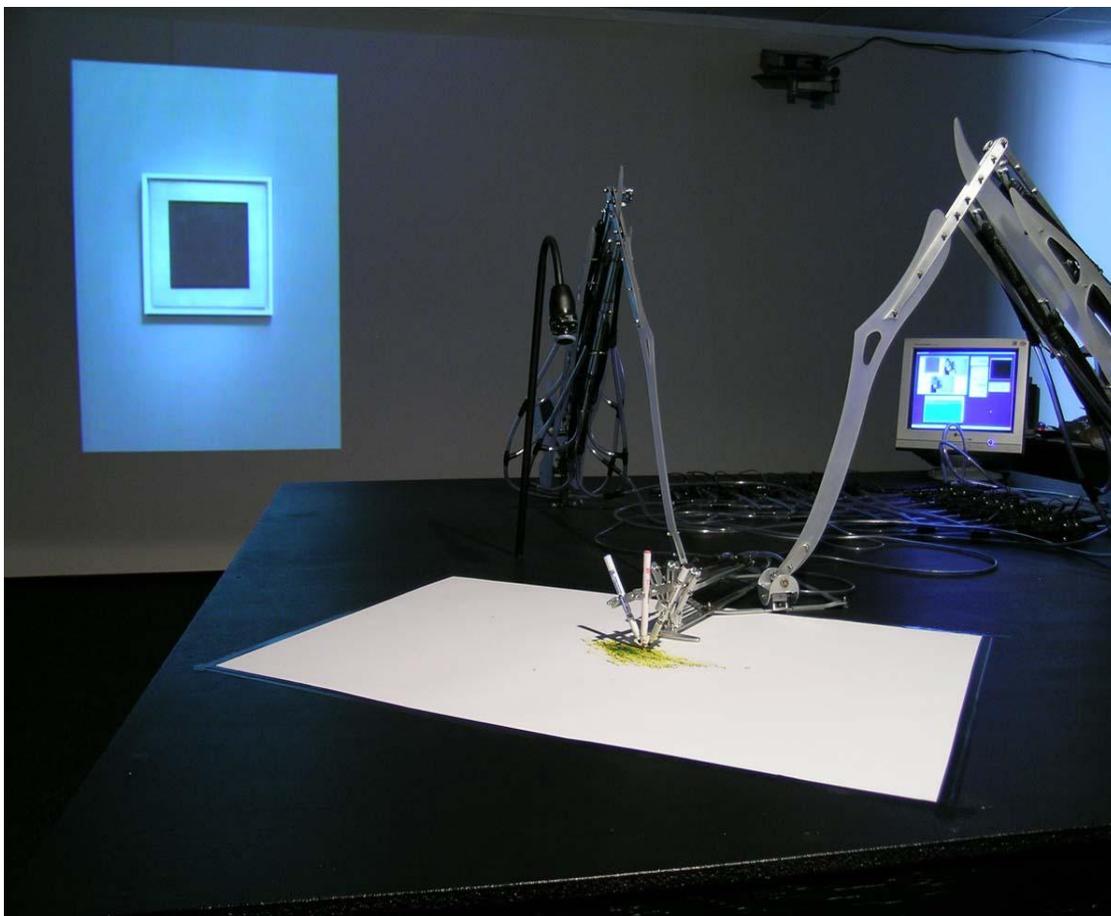
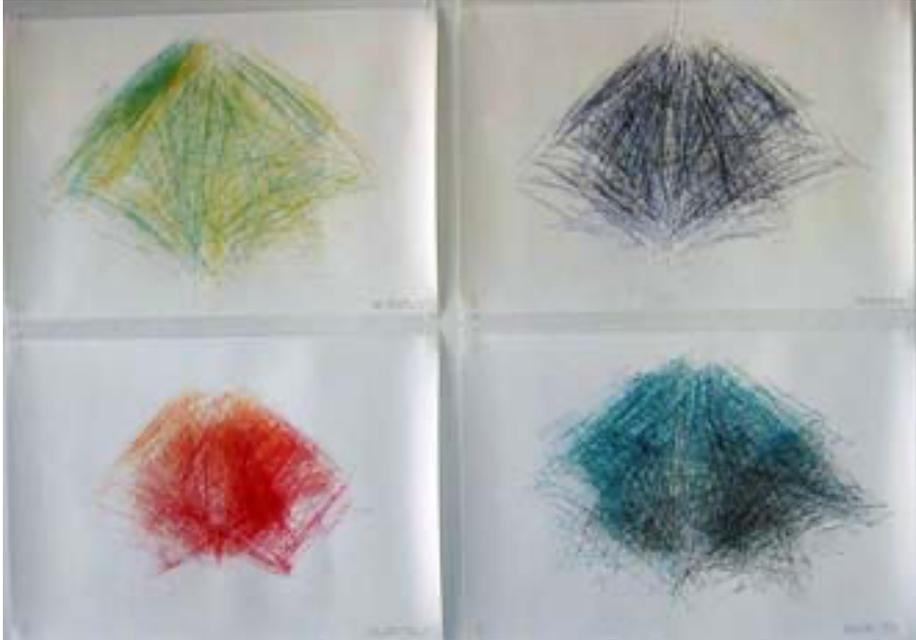


Figura 6. Cuerpo robótico de *MEART* trazando “su” representación de la pintura de Kazimir Malevich, *Cuadrado negro sobre fondo blanco* (1915), durante su exhibición en ART Dgital 2004, bienal rusa para el arte contemporáneo, en conjunto con *The Ultrafuturo Group*. Tomada de GuyBenAry.com: <http://guybenary.com/work/meart/#Gallery>, recuperada el 10/07/2021.



Figuras 7 y 8. MEART-The semi living artist, *The portraits* (2001). En la imagen inferior, las fotografías del público empleadas como *input* para el funcionamiento del hybrot. Tomada de GuyBenAry.com: <http://guybenary.com/work/meart/# Gallery>, recuperada el 10/07/2021.



Figura 9. Cuerpo robótico de *Silent Barrage* durante su presentación en el festival *TransLife: International Triennial of New Media Art*, Beijing, China, 2011. En cada tubo es posible apreciar a los “robots ruidosos”, así como las marcas que han dejado al registrar la actividad del público durante la exhibición. Tomada de GuyBenAry.com: <http://guybenary.com/work/meart/# Gallery>, recuperada el 10/07/2021.

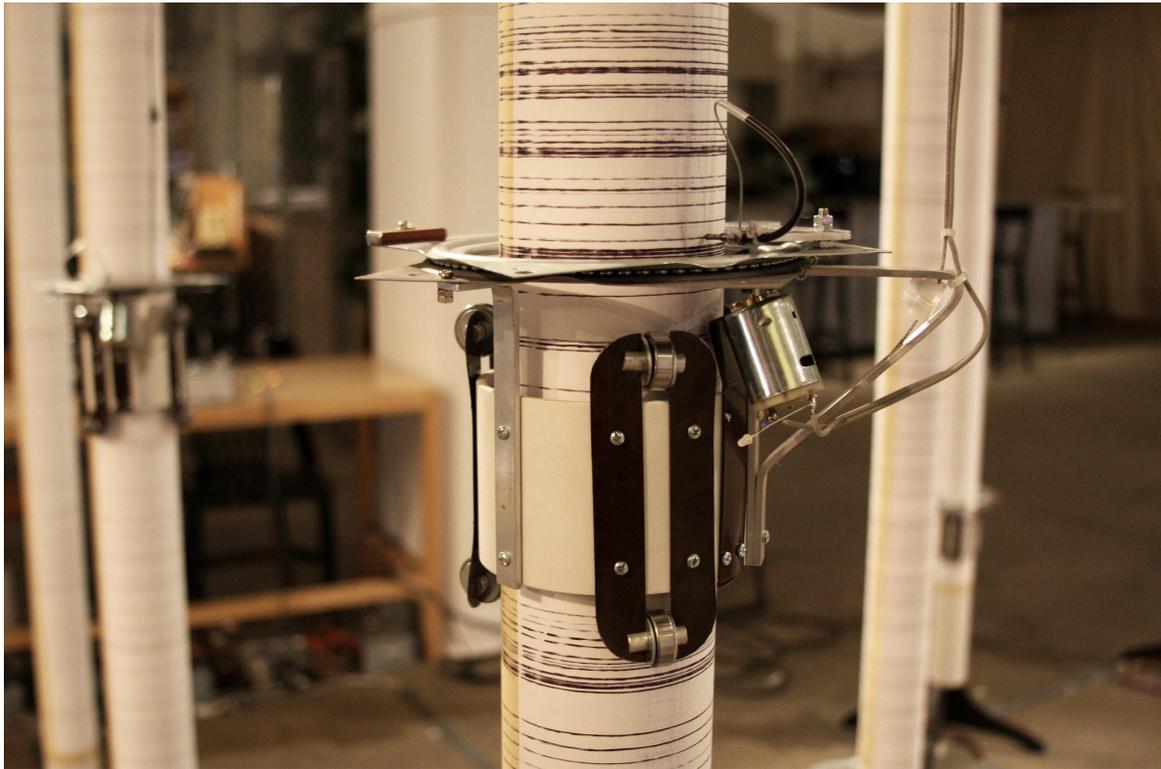


Figura 10. Detalle de un “robot ruidoso” realizando trazos sobre el papel que cubre la superficie del tubo. Tomada de GuyBenAry.com: <http://guybenary.com/work/meart/#Gallery>, recuperada el 10/07/2021.



Figura 11. Detalle de los trazos realizados por uno de los “robots ruidosos” durante la presentación de *Silent Barrage* en Nueva York, en 2006. Fotografía de la autora.



Figura 12. *cellF* durante su presentación con Darren Moore (percusiones) y Clayton Thom (bajo) en el Cell Block Theatre, Sydney, Australia, 2016. Tomada de Ewa Mazierska, Les Gillon y Tony Rigg, *The Future of Live Music* (Reino Unido: Bloomsbury Publishing, 2020), 111. En la página web del artista existen audios y videos grabados durante las presentaciones.



Figura 13. Vista lateral de *cellF*. En la parte trasera del cuerpo, a la derecha de la imagen, es posible ver la puerta donde se encuentra la incubadora para resguardar el cultivo neuronal antes y después de las presentaciones. Tomada de GuyBenAry.com: <http://guybenary.com/work/cellf/>, recuperada el 10/07/2021.



Figura 14. Sobreposición de la imagen de una célula nerviosa de Guy Ben-Ary obtenida con un microscopio electrónico de barrido, y la parte central del sintetizador *cellF*. Foto: cartel para la presentación de *cellF* en la Galería Kapelica, Ljubljana, Eslovenia, 2018.



Figura 15. Lámina de la presentación del Dr. Lam durante la conferencia “Life is a mess: towards a “Gene-Eccentric” and post-teleological discourse in bio-art”, presentada durante las *Charlas de los viernes*, SymbioticA, Universidad del Oeste de Australia, 28 de junio, 2019. Fotografía de la autora.

Preparation of Neural Stem Cell Proliferation Media:

1. Thaw the Neural Induction supplement (10ml bottle) in r
2. 100 ml media will probably last for the time needed to g
3. For 100 ML please mix in a sterile bottle:
 - a. 49 ml Advanced DMEM/F12 (Media Bottle)
 - b. 49 ml Neurobasal (Media Bottle)
 - c. 2 ml neural Induction supplement
4. Please re-freeze the rest of the neural Induction supplere

Plating the cells:

1. Thaw 1 tube of Geltrex (Coating Agent) in room temp (
2. Pre-heat the media to 37 in a water bath
3. Coat 3 T25 TC flasks with 3 ml of Geltrex
4. Incubate in a 37 incubator for 1 hour
5. Remove the Geltrex from the T25 (its important the G
6. Add 7 ml media to each of the 3 flasks
7. Add 4 ml of Neural Stem Cell Proliferation Medium to

Figura 16. Fragmento del protocolo para el cultivo de la red neuronal de *cellF* a partir de las células de Guy Ben-Ary. Fotografía de la autora.

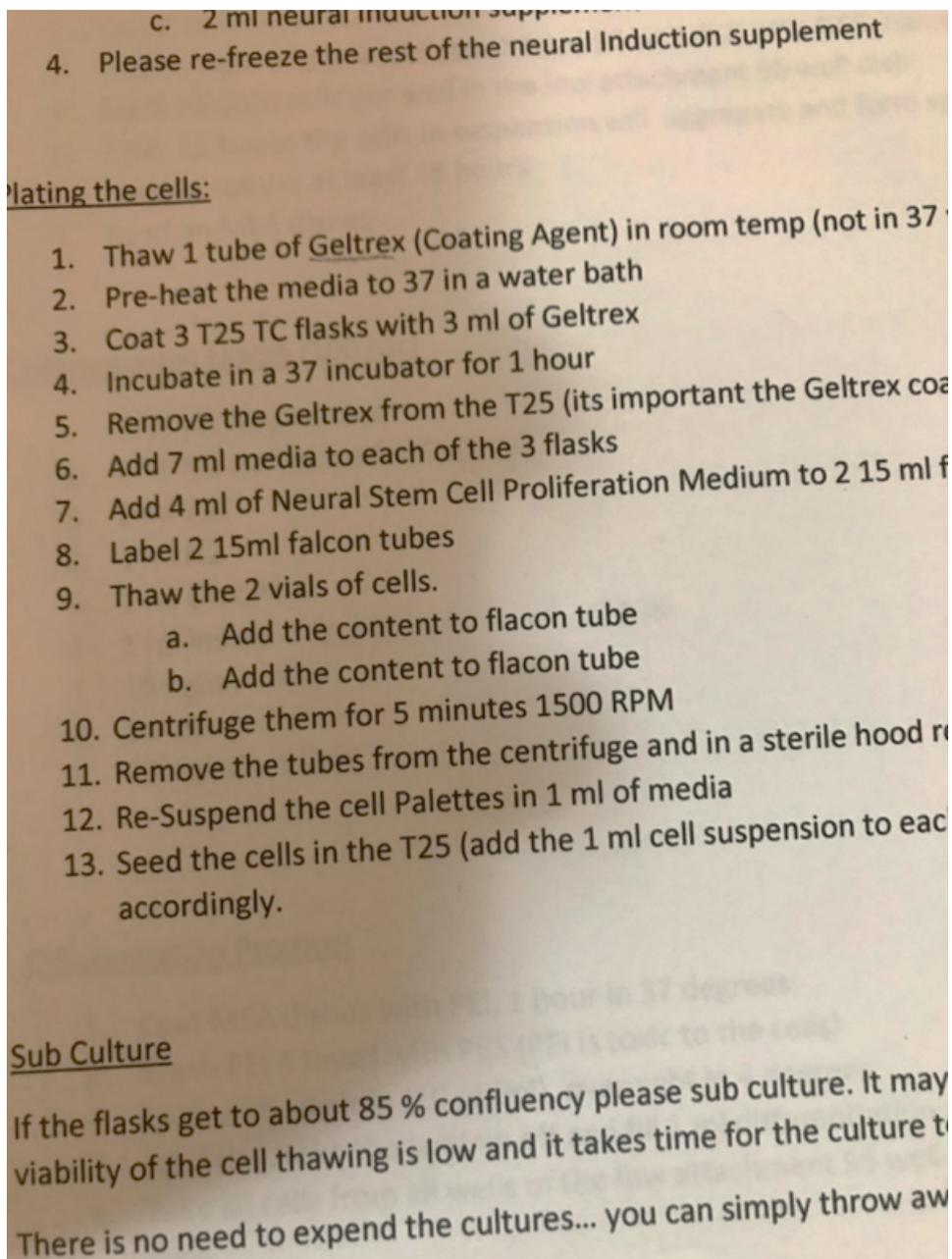


Figura 17. Fragmento del protocolo para el cultivo de la red neuronal de *cellF* a partir de las células de Guy Ben-Ary. Fotografía de la autora.