
VARIA / VARIA

EL ENTRELAZAMIENTO CUÁNTICO: UNA NUEVA FUENTE DE CREACIÓN ARTÍSTICA

QUANTUM ENTANGLEMENT: A NEW SOURCE OF ARTISTIC CREATION

Iñigo Sarriugarte Gómez

Universidad del País Vasco

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-0206-9864>

inigo.sarriugarte@ehu.eus

Cómo citar este artículo/Citation: Sarriugarte Gómez, I. (2019). El entrelazamiento cuántico: una nueva fuente de creación artística. *Arbor*, 195 (794): a534. <https://doi.org/10.3989/arbor.2019.794n4008>

Copyright: © 2019 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido: 12 marzo 2019. Aceptado: 29 agosto 2019.

RESUMEN: Desde el descubrimiento en 1935 del fenómeno del entrelazamiento cuántico, se han generado interrogantes y postulados que están sin resolver, pero que han desmantelado las bases de la física clásica. Tomando como base el comportamiento recíproco de determinadas partículas, independientemente de su distancia, se asume la existencia de un estado con una competencia de onda única para todo el sistema, lo que obliga a aceptar nuevos conceptos como la *no localidad* y la *no separabilidad*. En la actualidad son cada vez más los creadores que desde diferentes soportes y medios se han acercado al análisis del entrelazamiento como una nueva fuente de inspiración e investigación artística. De hecho, se plantea la plataforma artística como un recurso para divulgar este fenómeno, junto con sus teorías y misterios, familiarizando al espectador con una de las manifestaciones más definitivas para el progreso de la humanidad.

PALABRAS CLAVE: Física cuántica; entrelazamiento; misterio; arte; instalaciones; videoarte.

ABSTRACT: Since 1935, with the discovery of the phenomenon of quantum entanglement, unresolved questions and postulates have been generated, which have dismantled the basis of classical physics. Based on the reciprocal behavior of certain particles regardless of their distance, the existence of a state with a single-wave competence is assumed for the entire system, forcing us to accept new concepts such as *non-locality* and *non-separability*. Nowadays, creators are increasingly approaching the analysis of entanglement from different media, as a new source of inspiration and artistic research. In fact, the artistic platform is considered as a resource to spread this phenomenon, along with its theories and mysteries, familiarizing the viewer in one of the most defining manifestations for the progress of humanity.

KEYWORDS: Quantum physics; entanglement; mystery; art; installations; video.

1. BREVE INTRODUCCIÓN EN RELACIÓN CON EL ENTRELAZAMIENTO CUÁNTICO

La denominación *entrelazamiento cuántico* sería introducida en 1935 por Erwin Schrödinger, con objeto de describir un fenómeno de la mecánica cuántica que había sido observado, pero que creaba gran asombro entre los científicos y no se llegaba a entender bien. De hecho, se pudo comprobar cómo una serie de partículas no podían ser determinadas como entes individuales con estados definidos, sino más bien como un sistema con una función de onda única¹ para todo el conjunto. De ahí que esta correlación fuera asumida como un fenómeno cuántico, ya que no había tenido ninguna equivalencia clásica. La cuestión incidía en la existencia de reciprocidades en los estados cuánticos de dos o más partículas, lo que obligaba a que fueran descritas mediante un estado único que las entrelazaba en el sistema, independientemente de su distancia, fuera corta o con separaciones macroscópicas. Esta nueva realidad rompía definitivamente con la propiedad de la *localidad*, siendo entendida sobre la base de que cualquier suceso que se produzca en un lugar no debería influir o afectar a cualquier cosa que suceda en una ubicación distante, siempre y cuando no se haya emitido una señal de un lugar a otro y además bajo la barrera máxima de la velocidad de la luz. A partir del descubrimiento de este nuevo fenómeno, los científicos tuvieron que asumir el hecho de la *no localidad*², a la vez que comenzaron a admitir que la información entrelazada de dos partículas se debía transmitir a una velocidad mayor que la de la luz.

Las causas que producían este fenómeno se convirtieron en motivo de debate y estudio, lo que daría como primer referente científico el trabajo de 1935 por parte de Albert Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen, al publicar su famosa paradoja EPR, según las iniciales de sus apellidos (Laloë, 2012, pp. 38-55). Estos tres científicos pusieron en marcha un experimento de carácter mental con el objetivo de demostrar lo incompleta que se encontraba la mecánica cuántica, asumiendo según este trío la condición de completitud: “sea cual sea el significado asignado al término completo, el siguiente requerimiento para una teoría completa parece ser necesario: cada elemento de la realidad física debe tener una contraparte en la teoría física” (Einstein, Podolsky y Rosen, 1935, p. 777).

Sobre la base de la teoría del entrelazamiento cuántico, se podían observar evidentes correlaciones entre las partículas, lo que vaticinó nuevos experimentos, caso del estado del espín nulo, ya que cuando una partícula gira hacia arriba, la otra de manera automá-

tica comienza a girar hacia abajo, aspecto que no podría ser predicho ni explicado por la mecánica clásica. En definitiva, los científicos se encontraron con la existencia de unas demostrables correlaciones no solo en estados cuánticos, sino incluso en sistemas que podrían quedar mutua e instantáneamente entrelazados en base a las diferentes interferencias o variaciones que se vayan produciendo en sus estados.

Uno de los grandes interrogantes giró en torno al modo de transmisión de dicha información, teniendo en cuenta que la medición que se empleaba se unía con la velocidad de la luz y no podía ser superior a esta, de ahí que empezaran a asumir que la única posibilidad para la transmisión de información era emplear un conjunto de estados entrelazados en combinación con un canal de información clásico, definido como *teleportación cuántica* (Furusawa y van Loock, 2011, pp. 179-216).

Durante los años 60, el físico John S. Bell aportó numerosos avances en este nuevo campo; entre estos, las matemáticas definitorias de este fenómeno, que serían conocidas como de *no separabilidad*. Sobre esta última cuestión se puede anotar lo siguiente:

Los estados no locales violan la separabilidad: por lo tanto, el estado cuántico no local representa una no separabilidad [...] A veces se ha afirmado que una explicación de las correlaciones EPR/B que hace uso de tal no separabilidad significaría prescindir de una explicación causal. Sin embargo, nuestras consideraciones muestran que este no es el caso: la variable no separable está incorporada dentro de una estructura causal de una manera clara, como cualquier otra variable [...] A este respecto, la no separabilidad no representa una ruptura con los principios causales, sino una ruptura con los supuestos espacio-temporales, es decir, que las variables o estados siempre deben estar localizados (Näger y Stöckler, 2018, p. 157).

Por otro lado, dicho estado se producía en sistemas microscópicos, tanto en los descubiertos en la época, como en los nuevos que han ido apareciendo, pero que en cualquier caso la posibilidad de entrelazamiento perdía capacidad comunicativa según se trasladaba a contextos de mayor dimensión, debido al fenómeno definido como *decoherencia cuántica*³, teoría que ha podido ser rebatida gracias a distintos experimentos realizados en niveles macroscópicos⁴.

Aunque los científicos encuentran numerosas dificultades de interpretación y comprobación, simultáneamente se ha ofertado para la ciencia un nuevo horizonte al observar las múltiples posibilidades que

implica dicha teoría en otros ámbitos científicos y tecnológicos en fase de desarrollo, caso de la computación, de la criptografía y de la teleportación cuántica, así como en los nuevos ámbitos de la medicina. Esta nueva coyuntura aplicativa no ha sido ajena para el sector artístico y estético, que se ha involucrado en nuevas propuestas e investigaciones con el objetivo de ampliar nuevas posibilidades conceptuales y prácticas.

2. PROPUESTAS ARTÍSTICAS VERSADAS EN EL ENTRELAZAMIENTO CUÁNTICO

Muchas de las sugerencias de la artista y física cuántica Libby Heaney toman esta última área científica como punto de partida, procediendo con el análisis de sistemas a través de una lente computacional cuántica en instalaciones interactivas y eventos participativos. En base a la contextualidad, el entrelazamiento y la superposición como conceptos de articulación, Heaney indaga en la búsqueda de resonancias con otros campos y de este modo incentiva nuevos lenguajes en torno a la ciencia cuántica. De hecho, como comenta la propia investigadora:

Hago dos acercamientos a mi práctica artística. En primer lugar, me interesa cómo los conceptos de la física cuántica se pueden utilizar como inspiración para la nueva estética. No se trata de representar literalmente la ciencia, sino de pensar de manera diferente sobre la forma, los materiales y la interacción. A menudo, los científicos creen que combinar arte y ciencia es crear una buena visualización de sus datos, pero eso es solo una ilustración. Es importante ir más allá de la ilustración, para especular y plantear preguntas. También me interesa reexaminar los sistemas a través de una lente computacional cuántica, tanto teóricamente como a través de la fabricación. Esto significa que tomo algunos aspectos de la física cuántica, como la superposición o el entrelazamiento, y exploro resonancias y disparidades metafóricas con otros sistemas (véase *Once a physicist: Libby Heaney*).

En este sentido, para la artista el entrelazamiento cuántico es una correlación mayor que cualquier fenómeno que sea posible en el mundo macro, sustentándose en la teoría de la *realidad agencial* de Karen Barad, que a su vez se sostiene sobre la física cuántica de la filosofía de Niels Bohr.

Entre sus propuestas encontramos *Time's Tattarrattat* (2015), una proyección interactiva controlada por la palindromicidad de las palabras, o *Sensory Apparatus* (2016), una instalación que explora cómo la publicidad puede modificar el comportamiento de

los usuarios. Pero especialmente relevante resulta su instalación titulada *Nibbles - Documentation* (2017), realizada en colaboración con los doctorandos Sam Holder, Lawrence Rosenfeld y Jeremy Adcock, del *Centre of Quantum Photonics* de la Universidad de Bristol. En palabras de la misma creadora:

Hice una serie de obras de arte cuánticas genuinas, que son obras de arte compuestas por cuatro fotones entrelazados, utilizando un ordenador cuántico de cuatro cúbits. Estas obras de arte se destruyeron cuando intentamos *mirarlas* (en base a una medición del número de fotones a través de una cámara superconductor). *Nibbles* es, por tanto, la documentación de estas obras. Es una pieza de imagen en movimiento inmersivo en cuatro pantallas, que se refiere a los cuatro fotones utilizados en las obras de arte. A lo largo de la obra, una narrativa hablada aborda la historia de las obras de arte desde la creación hasta la destrucción a través de instancias metafóricas de los procesos científicos en lo cotidiano, lo cosmológico y lo sublime. Las imágenes en cuatro pantallas se refieren a la narrativa y están entrelazadas en el sentido de que son *intra-relacionadas / inseparables*, por lo que la forma de esta documentación hace referencia a la estructura de las obras de arte cuánticas genuinas. La ruptura entre palabra e imagen crea una experiencia para que el público imagine y sienta la estética del reino cuántico *perdido*⁵ (véase *Libby Heaney. Nibbles*).

En dicha instalación, se podía observar un entrelazamiento de imágenes y videos entre los cuatro soportes, junto con dos revistas que asumían la intencionalidad de explorar la relación entre la computación cuántica y el concepto de significado. La obra de arte se producía mediante la eliminación de información, lo que permitía que las partículas de luz se volvieran indistinguibles. Mediante la falta de información en imágenes y con videos indistinguibles, junto a un desenfoque del significado se intenta crear una simulación de entrelazamiento. Para ello, se produce un trabajo visual en movimiento de cuatro pantallas con una narrativa hablada, que documenta poéticamente las obras de arte cuánticas.

La realización de estas obras de arte con un ordenador cuántico de cuatro cúbits daba lugar a que fueran inobservables, porque de acuerdo con las peculiares leyes de la física cuántica, dichas propuestas se destruyen cuando algo las mira (Heaney, 2017). Las imágenes se componían de cuatro partículas de luz infrarroja, existiendo durante una pequeña fracción de segundo, pero con un resultado en los gráficos de los cuadernos de los científicos que recordaba a los cubos abiertos de Sol LeWitt y a las obras de arte de Manfred Mohr.

Figura 1. Libby Heaney. *Nibbles – Documentation* (2017)



Fuente: <http://libbyheaney.co.uk/nibbles-documentation-of-an-art-work-made-by-a-quantum-computer/>

La artista Heaney planteaba una aproximación libre sobre una realidad subyacente. Por este motivo, no era posible mostrarlas ni en el video ni en las revistas, por lo que se decidió documentar algunos rastros del proceso, caso del nibble o cuado, es decir, la mitad de un byte, único vestigio de las obras de arte entrelazadas no observables. Para el desarrollo de esta instalación se procedió a elaborar una exhaustiva documentación sobre dichos procesos creativos, lo que se acercaba a postulados del arte conceptual. Parte de esta documentación intenta simular la experiencia del entrelazamiento cuántico aplicando un método similar a las *puertas lógicas* utilizadas para entrelazar partículas en imágenes. De hecho:

Tanto las imágenes en los videos, como las palabras en el proceso narrativo, se sustentan en datos que marcan los bordes de la representación o el vacío cuántico: datos del láser, imágenes infrarrojas del espacio, videos del chip, mediciones obtenidas, distancias y tiempos; datos sobre materiales y sonidos grabados de equipos que utilizan micrófonos de contacto y tomas eléctricas. Esta cacofonía de representaciones inadecuadas se encuentra justo fuera del mundo cuántico, pero estas y otras instancias indistinguibles se colocaron juntas en el video siguiendo un sistema en el tiempo y el espacio con reglas similares al algoritmo informático cuántico que generó las obras de arte cuánticas genuinas. (Lenz, 2017, 5 junio).

De igual manera se propone establecer un paralelismo entre la física cuántica y la teoría de la deconstrucción, ya que en base a esta última metodología se obtiene una documentación en torno a la noción de lo que sería una obra de arte cuántica “genuina”.

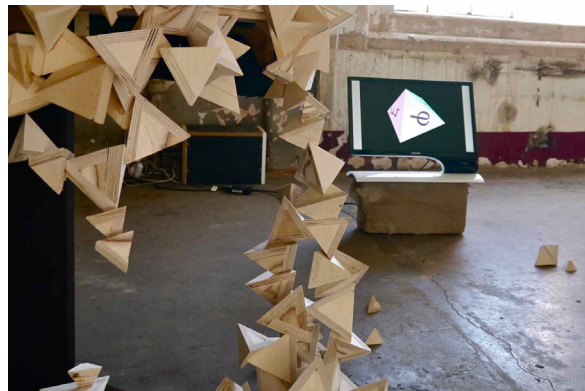
El 4 de diciembre de 1926, Albert Einstein afirmó lo siguiente en una carta enviada a Max Born:

La mecánica cuántica es ciertamente imponente. Pero una voz interior me dice que todavía no es lo real. La teoría dice mucho, pero en realidad no nos acerca al secreto de *lo antiguo*. Yo, en cualquier caso, estoy convencido de que *Él no tira los dados*” (Walker, 1971, p. 91).

A partir de estas y otras aportaciones, se presenta la instalación y escultura digital interactiva *God’s Dice* (2014), donde se muestra un dado octaédrico de madera, que está conectado de forma remota a una copia de sí mismo en una pantalla. Nuevamente, en base al concepto del entrelazamiento cuántico, cuando el objeto físico se gira, la versión digital repite el movimiento. De acuerdo con la propia artista:

God’s Dice es una instalación física con un componente digital, donde la rotación (por parte de un participante) del dado octaédrico físico altera la rotación de su copia digital en la pantalla. Trata sobre el entrelazamiento entre lo digital y lo físico, entre el objeto y el sujeto, y entre la naturaleza y la cultura; siendo estas mismas metáforas para cuestiones de la mecánica cuántica, que incluye el entrelazamiento. Los participantes a menudo experimentan la sorpresa de que una escultura de madera puede mover la copia en la pantalla de forma remota, lo que captura parte del misterio del cuanto. Es importante enfatizar que el entrelazamiento cuántico tal como se define en mi ciencia no se puede representar ni simular en el mundo macroscópico, de ahí esta obra de arte (véase *Libby Heaney. Nibbles*).

Figura 2. Libby Heaney. *God’s Dice* (2014)



Fuente: <http://libbyheaney.co.uk/gods-dice-2014/>

Igualmente, dentro de esta propuesta, Libby Heaney puso otras cuestiones encima de la mesa, como la probabilidad y la indiferencia. En este sentido, para Gregg Jaeger (2009, pp. 69-70):

La concepción clásica de la probabilidad, que es anterior a la axiomatización de Kolmogorov, surgió de la abstracción de situaciones prácticas en las que todos los resultados son, en cierto sentido, igualmente posibles, resultando la probabilidad de cualquier evento la fracción del número total de eventos que representa, al igual que en la aparición de una cantidad como la suma obtenida en la tirada de un par de dados justo sumando el valor de las dos caras ascendentes. La introducción del principio de indiferencia, es decir, que siempre que no exista evidencia que favorezca una posibilidad sobre otra posibilidad tienen probabilidades iguales, ayuda a evitar una circularidad en la concepción clásica de probabilidad. Sin embargo, puede ser problemático explicar la idea de *evidencia igualmente buena* para dos eventos inciertos sin hacer uso de la probabilidad.

Este mismo autor anota la siguiente reflexión:

Bell comentó *Me gustaría aclarar esto de que 'Dios no juega a los dados'*. Esto es algo que a menudo se cita, y que Einstein lo dijo bastante temprano en su carrera, pero luego se preocupó más por otros aspectos de la mecánica cuántica que por la cuestión del indeterminismo. Y, de hecho, el experimento particular de *Aspect* [que confirma la violación de la desigualdad de Bell] pone a prueba esos otros aspectos, específicamente la cuestión de no actuar a distancia (Jaeger, 2009, p. 46).

Heaney también ha tomado parte en proyectos divulgativos, donde el arte y la computación cuántica se fusionan; por ejemplo, en la investigación impulsada por el *Institute of Physics – IOP* de Londres, que tuvo su proyección pública en un evento en el *Victoria and Albert Museum* de la misma ciudad, el 11 de mayo de 2017, donde artistas y científicos describieron las obras de arte del proyecto y cómo habían trabajado juntos para producirlas. Se trataba de un propósito piloto basado en la colaboración entre científicos del Centro de Fotónica Cuántica de la Universidad de Bristol y estudiantes de arte de la *Royal College of Art* (RCA), dirigido por Libby Heaney, tutora de investigación en este último centro, bajo el objetivo de emplear tecnologías cuánticas en etapas iniciales para ayudar a generar obras de arte. De hecho, la propuesta *Measurement and Matter* (2017) de Louis Schreyer, Thibaut Evrard, Taeyoung Choi y Marcela Uribe exploraba

las conexiones entre la informática cuántica y el espacio arquitectónico, utilizando datos extraídos al medir el entrelazamiento cuántico. Para ello, se dispuso de una instalación híbrida, donde distintos patrones lumínicos eran proyectados en una columna transparente de acuerdo a una serie de datos cuánticos, que dependían directamente de la manera en que los espectadores deambulaban por el lugar. Se planteaba un entrelazamiento entre el visitante y la obra de arte, ya que tanto sus movimientos como sus ubicaciones alrededor de la columna eran documentados y recogidos. La combinación de los patrones lumínicos con las actitudes de los espectadores producía nuevas posibilidades de interacción con el ámbito arquitectónico; de hecho, no solo se planteaba una representación del suceso cuántico, sino que se trasladaba al ámbito performativo, intentando que el espectador asumiera la intuición de lo que sucede mediante la combinación de la computación cuántica con otras áreas a través de la interacción mediada digitalmente.

En *Alice y Bob* (2017) de Anna Ridler y Daria Jelonek, se muestran una serie de cartas amorosas elaboradas por los propios artistas a partir de las palabras que recogen de documentos de computación cuántica. Determinados términos de la física cuántica, como *entrelazamiento* y *colapso*, hicieron recordar a los artistas los ejes sobre los que se hilan ciertas novelas románticas. Tal y como se explica:

Junto con los científicos Eric Johnston y Euan Allen, los artistas siguieron la estructura de las *puertas lógicas* en un ordenador cuántico de cuatro cúbits, así como las diversas formas de generar las salidas de cuatro bits, como sistema para organizar el orden de las letras en un libro lineal de tres actos, trayendo así un elemento humano a la ciencia.” (Lenz, 2017, 5 junio).

En el caso de otros creadores, desvinculados de los centros anteriores pero que siguen abordando esta misma línea de investigación, encontramos a Dmitry Kawarga con *Object-antioject. Superposition* (2014), donde se presenta un engañoso sistema cerrado compuesto de dos objetos robóticos que interactúan entre sí de manera sincronizada, aunque la comunicación cinética entre los objetos no consigue respetar las leyes de la sincronización. Cada robot dispone de numerosos sensores, que recopilan constantemente datos sobre vibración, humedad, presión, distancia, movimiento, sonido, luz y temperatura. De este modo, los datos recopilados por uno de los objetos son transformados en el movimiento del otro, que a su vez impresiona al primer objeto, creando un bucle que se manifiesta en un estado de flujo constan-

te. Uno de ellos se articula mediante cubos regulares lisos, mientras que el otro se muestra como un bulto amorfo de poliuretano, quedando entrelazados por una red de medición en lo que podría ser un sistema cerrado. No obstante, el artista ha ido más allá generando un entrelazamiento en base no solo a la interacción de los dos objetos, sino también teniendo en cuenta el comportamiento del espectador.

Figura 3. Dmitry Kawarga. *Object-antioject. Superposition* (2014)



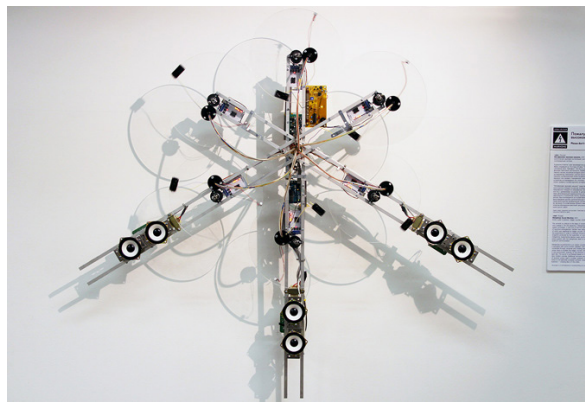
Fuente: <https://theartstack.com/artist/dmitry-kawarga/superposition-object-an>

Manteniendo el desconocimiento y el misterio que acontecen en numerosos apartados de la física cuántica, Dmitry Kawarga inculca dicha sensación enigmática ya que, aunque estos robots interactúan entre sí y se asume una conexión entrelazada, esta no se produce de una manera real, lo que genera en el espectador una sensación de descontrol sobre el proceso, rompiéndose cualquier atisbo de lógica racional en dicha dinámica (véase *Object-antioject. Superposition*).

Por otro lado, el artista e investigador transdisciplinar Dmitry Morozov, conocido por el alias *vtol*, trabaja en el sector del sonido, la robótica y la instalación, dando un decidido impulso a la relación entre los sistemas emergentes y los nuevos tipos de síntesis tecnológica. Se alienta un homenaje al físico norteamericano Nick Herbert, quien en los años setenta había creado los dispositivos experimentales conocidos como *Metaphase Typewriter* (máquina de escribir

metafísica) y *Quantum Metaphone* (metáfono cuántico o sintetizador de voz), en un intento de llevar a la práctica el fenómeno del entrelazamiento cuántico a la vez que se convertía en uno de los primeros ensayos en la creación de un ordenador cuántico. *Metaphase Sound Machine* (2014) de Dmitry Morozov es en sí mismo un acto de admiración a Nick Herbert, ya que este último intentó acercar la metafísica a la propia física cuántica, lo que le produjo una pérdida de prestigio profesional, especialmente cuando relanza en uno de sus experimentos la idea de una comunicación cuántica para establecer un contacto con el espíritu del ilusionista Harry Houdini el día del centenario de su nacimiento. Debemos recordar que, en el dispositivo de Herbert, para obtener un entrelazamiento cuántico, se utilizó como fuente el talio radiactivo, siendo controlado por un contador de radiación Geiger. En sus criticados experimentos participaron varios psicólogos, intentando influir en la interminable secuencia de anagramas aleatorios que se originaban desde una máquina de escribir, a la vez que se intentó que “una voz fantasma” se escuchara desde el metáfono.

Figura 4. Dmitry Morozov. *Metaphase Sound Machine* (2014)



Fuente: <http://vtol.cc/filter/works/metaphase-sound-machine>

Este descrédito acarreado por parte de Herbert se intenta mitigar en *Metaphase Sound Machine*, un objeto de sonido cinético/cibernético, donde la resonancia se genera en base a la retroalimentación del contador Geiger, que registra la radiación de partículas en el entorno. Esta propuesta fue encargada por la plataforma *Future Everything* (Manchester Technology Centre) y el *Laboratoria Art & Science Space* (Moscú), basándose principalmente en una máquina de sonido y movimiento impulsada por la descompo-

sición nuclear aleatoria cuántica. Estaba construida sobre la base de seis discos giratorios, cada uno de ellos con una fuente de sonido acústico (un altavoz) y un micrófono, que a su vez se conexionaban a través del ordenador y el eje giratorio con los altavoces en los discos. Como ya hemos comentado, el artista sitúa un contador Geiger-Mueller, que permite detectar la radiación ionizante en el área circundante. De esta manera, los intervalos entre estas partículas pueden alterar la velocidad de rotación de cada uno de los discos. Tal y como se explica:

El objeto es una instalación de audio y cinética en la que se sintetiza un sonido basado en las reacciones, producidas por micrófonos y altavoces en discos giratorios. Los silbatos de realimentación se utilizan como activadores para una síntesis de sonido más compleja. El procesamiento adicional de la señal armónica, así como la volatilidad del sistema dinámico, conducen a las infinitas variaciones de sonido. La forma del objeto se refiere a la notación simbólica generalmente aceptada del entrelazamiento cuántico como un bifotón, que cruza los discos de las órbitas (véase *Metaphase sound machine*).

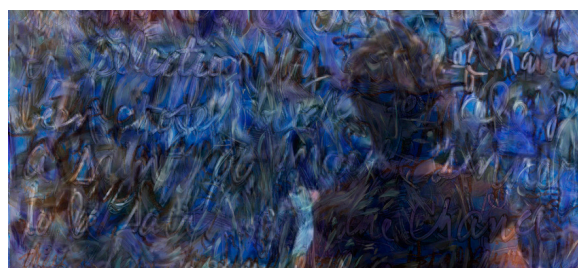
Una artista que ya anteriormente había recogido como referencia el dispositivo de Nick Herbert, es Lynden Elizabeth Stone⁶ con su proyecto *Metaphase Typewriter Revival Project* (2012), en el que propuso un generador de texto cuántico utilizando un hardware físico moderno e interfaces de ordenador.

En los trabajos de Naomie Kremer se combinan desde esculturas y pinturas híbridas hasta formatos videográficos. Se le crean al espectador una serie de dudas a la hora de deducir dónde empieza un medio y dónde otro, ya que se trata de romper dichas limitaciones y sumergir al visitante en entramados que van más allá de la mera configuración de la realidad. Esta sería su principal línea de actuación a partir de 2008, sobre todo a raíz de su trabajo en la *Berkeley Opera* de California, cuando tuvo que crear un conjunto de diseños por vídeo para la pieza *Bluebeard's Castle* (2008) de Béla Bartók.

En su búsqueda y acercamiento hacia los entrelazamientos cuánticos, desarrolla *Chance Operations* (2011), un proyecto compuesto por capas abstractas de pintura, en donde la artista inscribe un poema en prosa. De manera paralela se procede a grabarse a sí misma en el momento de realizar la pintura, que posteriormente será proyectada de nuevo sobre la superficie de la pieza terminada. El resultado será el siguiente:

El efecto hace que la superficie de la pintura, brillando y avanzando o retrocediendo, no determine cuál es el pigmento y cuál la proyección. Se observa un perfecto entrelazamiento. La estratificación del proceso sobre el producto terminado recuerda a los espectadores que el objeto que tienen delante está conectado al acto creativo, aunque separado por el tiempo (Ferguson, 2015, 8 noviembre).

Figura 5. Naomie Kremer. *Chance Operations* (2011)



Fuente: <https://www.sjica.org/archive/naomie-kremer-age-of-entanglement/>

Gran parte de los proyectos de Kremer se abocan a una constante manipulación de la realidad, introduciendo al espectador en mundos virtuales, a partir de la alteración pictórica o de la simbiosis entre distintos medios, formatos y técnicas, práctica continuista y habitual en su metodología artística. De hecho, en palabras de la propia pintora:

Las pinturas híbridas, que comencé a hacer en 2008, encarnan la impredecible conjunción de dos medios que resultan en una tercera forma: un híbrido. Considero que la casualidad es mi colaboradora no reconocida, de la misma manera en que John Cage lo mencionó en su proceso de composición (comunicación personal de la artista. Véase nota 5).

En sus propuestas produce una animación tanto en textos escritos como en soportes pictóricos, lo que aporta el componente tiempo a sus lienzos. De hecho, “el video estructura el tiempo del espectador de una manera que la pintura no puede. Casarse con los dos medios crea un *híbrido*: un objeto misterioso en el que el contenido se mueve y brilla [...]” (Kimball, 2015, p. 3). Se trataría de parodiar la generación de entramados híbridos y extraños que se pueden dar dentro de las distintas experimentaciones de la física cuántica, tal y como anota Robert Fickler (2016, p. 77):

Ahora, la complejidad del estado bi-fotón generado se puede aumentar aún más al incluir la propiedad

vectorial de la luz y al combinarla de una manera no trivial con modos espaciales transversales, es decir, superposiciones de diferentes modos de luz ortogonalmente polarizados, lo que conduce a la polarización variable a través de la extensión del haz.

También debemos resaltar su instalación *Age of Entanglement* (2015), en el *San Jose Institute of Contemporary Art* en San Francisco, donde además de incluir propuestas realizadas en años anteriores, seguirá incidiendo en alusión al propio entrelazamiento cuántico, con la correlación de elementos dispares, pero que son percibidos simultáneamente, caso de las piezas compuestas de texto que mezclan video y música, o las propuestas videográficas que asumen múltiples perspectivas, con distintos elementos actuando de manera combinada. En palabras de la misma creadora:

Llamé a mi exposición *Age of Entanglement* como un principio unificador para las diferentes formas en que enfoco mi trabajo. Los temas aparentemente no relacionados que se mencionan en la exposición (psicología, historia personal, el conflicto árabe-israelí, la historia de mi padre, etc.) y los diferentes medios que uso (pintura abstracta, texto y video) se sintieron conectados de manera misteriosa. Para ello indagué en la *acción fantasmagórica a distancia* de Albert Einstein (comunicación personal de la artista. Véase nota 5).

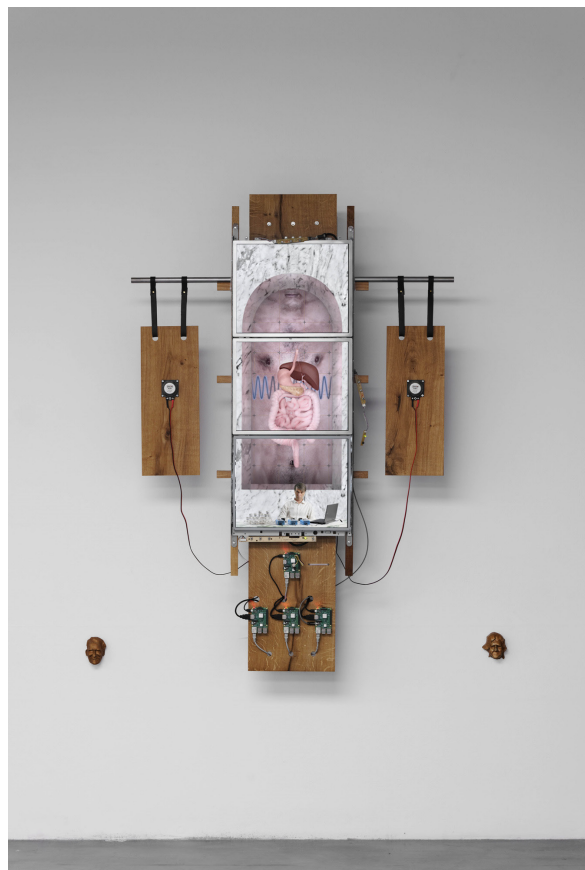
En definitiva, la creadora pretende trasladar el espíritu de actuación del ámbito de la física cuántica a un entramado artístico, asumiendo constantes como la que plantea Mark P. Silverman (2008, prefacio):

Las superposiciones cuánticas pueden ser abiertamente espaciales, como en el ejemplo familiar de ondas superpuestas que salen de dos rendijas que conducen a una distribución periódica de partículas independientes en una pantalla distante; abiertamente temporal como en la superposición de amplitudes de estado excitado que dan como resultado propiedades cuánticas de conjunto que oscilan en el tiempo, o sutilmente internas como en las restricciones de simetría basadas en espín en funciones de onda multipartícula de las que surgen diferentes estadísticas cuánticas. La superposición cuántica puede ocurrir en sistemas que varían en tamaño y complejidad desde partículas elementales simples a átomos ampliamente separados en estados entrelazados, a circuitos electrónicos mesoscópicos, a estrellas degeneradas por densidades y presiones inimaginables.

Destacamos en esta misma línea, la propuesta del francés Florian Sumi dentro de la colectiva *Membrains* (2018), en el *Centre d'art contemporain Brétigny* en

Brétigny (Francia), donde presenta esculturas y películas que proyectan dispositivos versados en la teoría del entrelazamiento cuántico, lo que permite facilitar toda una serie de "rutas tomadas por las comunicaciones digitales, orgánicas, sensuales, celulares o psíquicas que empleamos diariamente" (véase *Membrains. Florian Sumi*). Para ello, se hace valer de los dispositivos y aparatos de la línea experimental *Spooky2*⁷. Dicha compañía internacional ha centrado sus investigaciones en el campo de las longitudes de ondas del científico Royal Raymond Rife, como medio para inducir frecuencias, según la vibración de resonancia de un patógeno, y a su vez seguir las teorías del entrelazamiento y el *efecto fantasma* de Albert Einstein.

Figura 6. Florian Sumi. *Membrains* (2018)



Fuente: <http://artviewer.org/florian-sumi-at-cac-bretigny/>

El artista galo muestra en las vídeo-instalaciones la manera en que podemos creer en ciertas teorías que, a pesar de no ser corrientes y habituales para el espectador, se hacen más plausibles desde el ámbito cuántico. De este modo, demuestra cómo la manera de entender el cuerpo y sus consiguientes

actuaciones sobre este irá cambiando, en base a los distintos descubrimientos que se vayan generando en torno al entrelazamiento cuántico. Fundamentándose en las teorías abordadas por *Spooky2*, se nos muestra cómo el tratamiento de determinadas afecciones puede ser abordado a distancia, simplemente empleando una muestra biológica del paciente, que será tratado a distancia, a partir de la emisión de una serie de ondas portadoras que llevarán la información hasta el mismo cuerpo del paciente. Florian Sumi nos adentra en un nuevo entramado de tratamientos a distancia, pero esta vez centrados en las investigaciones realizadas en el ámbito del entrelazamiento cuántico. En sus propuestas se puede escuchar tanto la voz de los protagonistas como los procesos de aplicación y ejecución de estos dispositivos creados por dicha empresa. De igual manera, el artista va a buscar una intercomunicación con aquellas personas que conoce o con las que colabora, al pertenecer todos los elementos a un todo donde están entrelazados.

Figura 7. Markos Kay. *Quantum Fluctuations* (2016)



Fuente: <https://vimeo.com/166185297>

En una perfecta cooperación con los científicos del *Gran Colisionador de Hadrones* en la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN), el artista digital Markos Kay ha presentado la propuesta videográfica *Quantum Fluctuations* (2016), donde se introduce la complejidad de lo que supone la naturaleza cuántica, que resulta prácticamente inobservable de manera directa. En este caso, las recurridas simulaciones con partículas que se emplean en los laboratorios van a funcionar a modo de pincel y pintura con el objetivo de ejecutar pinturas abstractas digitales como narrativas en movimiento que visualizan lo que ocurre durante una colisión de protones, lo que se explica de la siguiente manera:

En estos experimentos virtuales, millones de partículas virtuales interactúan para crear estructuras y patrones estocásticos que aluden a propiedades cuánticas como la dualidad onda-partícula, superposición, entrelazamiento e indeterminación (véase *Quantum Superpositions*).

Esta simulación acercaría a este artista a determinados métodos del arte abstracto, como por ejemplo el *dripping* del expresionismo abstracto; por ello se aboga por trabajar al azar, dando prioridad a la constante del *process art*. Aunque se ha buscado un cierto control en los pasos iniciales en lo que se refiere al establecimiento de las fuerzas físicas, de las propiedades y entidades de un entorno virtual, los siguientes pasos procesuales asumen una independencia progresiva. La propuesta se origina como si fueran fluctuaciones cuánticas subyacentes e interacciones que impulsan una colisión, siendo presentada la condición intrincada de haces de protones que chocan para procesar un flujo de lluvia de partículas compuestas que ocasionalmente se van deshaciendo. Como bien anota el propio artista:

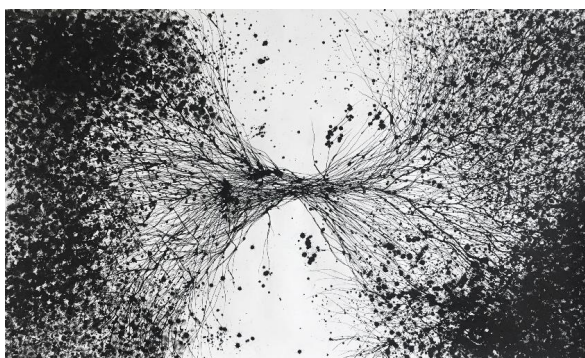
Se cuenta una historia de partículas donde se mueven rápidamente, interactúan y se transforman en diferentes estados, imaginándomelas como estructuras repetitivas que forman patrones. Estuve observando pinturas expresionistas abstractas y otras modalidades de abstracción gestual, porque quería que la obra de arte tuviera este elemento de acción espontánea. De hecho, la película se abre con rápidas pinceladas en movimiento, que representan las fluctuaciones de ondas aleatorias que subyacen en toda la realidad. También he recibido influencia de la iconografía científica clásica, como los diagramas de Feynman y otros diagramas que muestran interacciones y movimientos de partículas cuánticas, imágenes de patrones de interferencia de ondas y patrones de descarga eléctrica (figuras de Lichtenberg), simulaciones de dinámica de partículas e imágenes de microscopia de productos químicos y crecimientos de cristales (véase *Quantum Superpositions*).

Siguiendo con estos ámbitos pictóricos, mencionamos a Laura Krasnow, que ha mostrado la interacción de los entrelazamientos cuánticos en su trabajo *Quantum Entanglement* (2013), así como en los formatos de la costarricense Alessandra Sequeira, quien ha dibujado dichas estructuras con tinta china sobre rollos de papel de arroz, a partir de una serie de sueños donde se recuerdan conjuntos de partículas entrelazadas, tal y como nos lo relata la propia pintora (comunicación personal de la artista. Véase nota 5):

En el año 2013, comencé a soñar imágenes, que en estado de vigilia pude traducir como la comunicación que existe entre las neuronas -entre las partículas cuánticas- y en los fenómenos que se pueden observar en las sinopsis microscópicas. Fenómenos que de la misma manera como en la experiencia cotidiana, parecen reflejar la separación en el tiempo y en el espacio, pero en una realidad más profunda, nos demuestran que estamos todos unidos universalmente.

Así comencé a traducir a tinta mis visiones nocturnas, ambientes monocromáticos o policromáticos siempre entrelazados mediante líneas, gotas controladas y marcas autónomas que se relacionan a través de un sistema en el que la abstracción puede asumir una personalidad con características antropomórficas. Desarrollando narrativas no lineales, donde las formas abstractas responden unas a las otras, como un espejo de tinta, tal como la antigua gnosis adivinatoria lo planteaba, las imágenes y formas reveladas eran una lectura de los destinos reflejados.

Figura 8. Alessandra Sequeira. *Entanglement* (2016)



Fuente: <https://curatorial-poetry.yolasite.com/art-entanglement.php>

Estas redes creadas por Alessandra Sequeira recuerdan igualmente a los trabajos plásticos de Koji Ryui que se presentan en Sarah Cottier Gallery. Por otro lado, y dentro del área de la ilustración y bajo una misma temática, destacan nombres internacionales como Harald Ritsch, Carol y Mike Werner, Victor de Schwanberg, Nicolle R. Fuller, Richard Kail, Mark Garlick, entre otros muchos.

Por último, cabe resaltar otras perspectivas creativas, como la formalizada dentro del Programa de Doctorado *Complex Quantum Systems* (CoQuS) de la Universidad de Viena, y a su vez socio cooperativo del certamen Ars Electronica del año 2011 (con el título *Origin – How it all begins*). Los doctorandos Robert

Fickler, Marissa Giustina y Mateusz Kotyrba, entre otros, dirigidos por el profesor Anton Zeilinger dentro del grupo de investigación *Quantum Optics, Quantum Nanophysics, Quantum Information*, mostraron a los espectadores la propuesta interactiva *Symmetries*, donde se plantearon cuestiones relacionadas con la física cuántica, y entre estas con el ámbito del entrelazamiento. Más adelante, en 2014, dentro de la sección *Ars Electronica Futurelab*, y en colaboración con varias instituciones internacionales y con varias ciudades, se presentó la iniciativa denominada *Connecting Cities*, en cuyo marco se abordaba la manera en que el arte funciona en los espacios urbanos y públicos. Bajo el título *Entangled Sparks*, los espectadores podían llevarse a cualquier parte de la ciudad el píxel de la fachada de una casa bajo la forma de un *LinzerSchnitte*, una tarjeta receptora de FM programable de bajo coste. El objetivo era recrear el fenómeno del entrelazamiento cuántico, asumiendo que una partícula mantiene propiedades con otra contraparte, tal y como es explicado:

Una parte de la fachada se asigna a un solo píxel móvil y viceversa; el edificio es extruido en la ciudad y la ciudad implosionada en el edificio.

Los propietarios de un píxel pueden coordinarse con sus amigos para programar sus dispositivos *LinzerSchnitte* y que se activen de forma sincrónica. La fachada se disuelve por medio de la participación: se convierte en una membrana transparente y ya no es el exterior de una cubatura (véase *LinzerSchnitte. Entangled Sparks*).

Cuando el espectador hacía funcionar su píxel al ser activado, se accionaba un dispositivo que también permitía iluminar su *píxel entrelazado* de la fachada del edificio.

3. CONCLUSIONES

Los senderos para investigar y profundizar en el campo del entrelazamiento cuántico desde la aportación artística pueden ser tan variados como distantes, tanto en procedimientos como en soportes. Una de las principales referencias la encontramos en la artista británica Libby Heaney, que en colaboración con doctorandos en dicha área científica ha podido elaborar obras de arte genuinamente cuánticas, que al ser observadas desaparecen misteriosamente, ante lo que los científicos no son capaces de generar teorías sólidas, de ahí que en su propuesta *Nibbles* haya procedido principalmente a la recogida de una documentación que alude a tales procesos disgre-

gadores y de correlación. Desde los ámbitos de las instalaciones y de la recreación de mecanismos más plásticos, los rusos Dmitry Kawarga y Dmitry Morozov muestran soportes que analizan las características del entrelazamiento y sus misterios derivativos, a la vez que se homenajea a Nick Herbert por parte del segundo, por su valentía por acercar la física cuántica a los entresijos de la metafísica.

La creación de nuevos dispositivos terapéuticos y la apertura de recientes horizontes aplicativos para el ámbito curativo gracias a las teorías del entrelazamiento cuántico, ha impulsado la producción de nuevos medios para la transmisión de información

entre una muestra biológica y el cuerpo del paciente, siendo este el condicionante del trabajo del francés Florian Sumi, lo que le ha llevado a conexionar dichas teorías con su interés por el cuerpo humano y los flujos comunicativos.

Otra línea de aportación sería la combinación y generación de condiciones de hibridez entre soportes y medios, en un nuevo alegato por acercarnos a dichas teorías cuánticas, tal y como lo desarrolla Naomie Kremer, mientras que otros creadores, en similares líneas deductivas, abogan por soportes más unívocos, como son la proyección videográfica de Markos Kay y los trabajos pictóricos de Alessandra Sequeira.

NOTAS

1. Concepto introducido por Erwin Schrödinger, que permite estudiar el estado cuántico de un sistema de partículas, así como su evolución en el tiempo-espacio. De hecho, una partícula existe por una superposición de estados no locales, ya que las partículas que interactúan entre sí pertenecen a una función de onda única o global, que adquiere numerosas correlaciones.
2. Resulta de gran interés la consulta de Maudlin (2011).
3. Para obtener más datos, remitirse a Schlosshauer (2008).
4. En la actualidad se ha superado esta barrera propuesta por John S. Bell, ya que se ha conseguido observar el fenómeno

del entrelazamiento en diamantes milimétricos, lo que permitiría traspasar dicho estado a ámbitos de mayor dimensión. Consultar los resultados de dicho experimento en Lee *et al.* (2011).

5. El día 25 de enero de 2019 se envía un mensaje de correo electrónico, solicitando información sobre la relación entre la obra artística y el entrelazamiento cuántico, a los siguientes creadores: Heaney Libby, Naomie Kremer, Markos Kay, Alessandra Sequeira, Dmitry Kawarga, Dmitry Morozov y Florian Sumi, recibiendo respuesta por parte de los cuatro primeros.
6. La tesis doctoral *Doubting Conventional Reality: Visual Art and Quantum Mechanics* de Lynden Elizabeth Stone

explora parte de la historia del arte inspirada en la física moderna. Dicha investigación se defiende en diciembre de 2013 en Queensland College of Art, Arts Education and Law, Griffith University. Además de analizar sus propias obras, también se abordan trabajos de otros creadores, como Julian Voss-Andreae, Daniel Crooks, David Shrigley, Denise Stewart-Sanabria, Laurent Grasso, Victor Fota, Regina Valluzzi, Lucy McKenna y Jonathon Keats, entre otros.

7. Para más información se puede consultar <https://www.spooky2.com/> y especialmente el siguiente link, donde se procede a explicar el entrelazamiento cuántico con sus aplicaciones en esta nueva terapia: <https://www.spooky2.com/transmission/remotemode/>

BIBLIOGRAFÍA

- Einstein, A., Podolsky, B. y Rosen, N. (1935). Can Quantum Mechanical Description of Reality Be Considered Complete? *Physical Review*, 47, pp. 777-780.
- Fickler, R. (2016). *Quantum Entanglement of Complex Structures of Photons*. Heidelberg: Springer.
- Furusawa, A. y Loock, P. van (2011). *Quantum Teleportation and Entanglement. A Hybrid Approach to Optical Quantum Information Processing*. New Jersey: Wiley-VCH.
- Jaeger, G. (2009). *Entanglement, Information, and the Interpretation of Quantum Mechanics*. Heidelberg: Springer.

- Kimball, C. (2015). Foreword. En: Keats, J. y Kremer, N. *Naomie Kremer: Age of Entanglement*. San Jose, CA.: San Jose Institute of Contemporary Art, pp. 3-6.
- Laloë, F. (2012). *Do We Really Understand Quantum Mechanics?* New York: Cambridge University Press.
- Lee, K. C., Sprague, M. R. y Sussman, B. J., Nunn, J., Langford, N. K., Jin, X. M. [...] y Jaksch, D. (2011). Entangling Macroscopic Diamonds at Room Temperature. *Science*, 334 (6060), pp. 1253-1256. <https://doi.org/10.1126/science.1211914>
- Maudlin, T. (2011). *Quantum Non-locality & Relativity. Metaphysical Intimations*

of Modern Physics. Oxford: Wiley-Blackwell.

- Näger, P. M. y Stöckler, M. (2018). Entanglement and Non-locality: EPR, Bell and Their Consequences. En: Friebe, C., Kuhlmann, C., Lyre, H., Näger, P., Passon, O. y Stöckler, M. *The Philosophy of Quantum Physics*. Cham, Switzerland: Springer, pp. 103-178.
- Schlosshauer, M. A. (2008). *Decoherence: and the Quantum-To-Classical Transition*. Heidelberg: Springer.
- Silverman, M. P. (2008). *Quantum Superposition. Counterintuitive, Consequences of Coherence, Entanglement, and Interference*. Heidelberg: Springer.

Walker, B. M. (ed.). (1971). *The Born-Einstein Letters. Correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born from 1916 to 1955*. New York: Walker and Company.

Otros recursos

Ferguson, J. (2015, 8 noviembre). Review: Naomie Kremer Tackles Quantum Entanglement at the San Jose Institute of Contemporary Art. *SciArt Magazine*. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciartmagazine.com/blog/review-naomie-kremer-tackles-quantum-entanglement-at-the-san-jose-institute-of-contemporary-art>

Lenz, M. (2017, 5 junio). Entangled: Art, Science and Quantum Computing (Part 2). *Museum Life. News from the Lear-*

ning Department. [En línea]. Disponible en: <https://www.vam.ac.uk/blog/museum-life/entangled-art-science-and-quantum-computing-part-2>

Libby Heaney. *Nibbles – Documentation of an artwork made by a quantum computer*. [En línea]. Disponible en: <http://libbyheaney.co.uk/nibbles-documentation-of-an-artwork-made-by-a-quantum-computer/>

LinzerSchnitte. *Entangled Sparks – Ars Electronica*. [En línea]. Disponible en: https://ars.electronica.art/linzerschnitte/?page_id=30

Membrains. Florian Sumi. [En línea]. Disponible en: <https://www.cacbretigny.com/en/exhibitions/194-membrains-florian-sumi>

Metaphase Sound Machine. [En línea]. Disponible en: <http://vtol.cc/metaphase-sound-machine>

Object-antiobject. Superposition. 2014. On the exhibition «Quantum Entanglement / 2.0» 2016. The Volga region branch of the National Center for Contemporary Arts. [En línea]. Disponible en: <http://www.kawarga.ru/2015/antiobject/e-object.htm>

Once a physicist: Libby Heaney. How did you make the shift from physics to art? IOP - Institute of Physics. [En línea]. Disponible en: http://www.iop.org/careers/working-life/articles/page_69426.html

Quantum Superpositions. [En línea]. Disponible en: <http://www.mrkism.com/quantum.html>