

## **Una aproximación a la Educación STEAM. Prácticas educativas en la encrucijada arte, ciencia y tecnología**

---

An approach to the STEAM. Educational practices at the crossroads art, science and technology

Lourdes Cilleruelo y Augusto Zubiaga  
Universidad del País Vasco, UPV/EHU

### Resumen

Los actuales modelos de investigación educativa deben considerar la tendencia a la integración de las artes en el marco de las disciplinas científicas (STEM to STEAM). En esta nueva orientación, las prácticas artísticas son entendidas como un ámbito propedéutico para la canalización y desarrollo de diferentes saberes y conocimientos, y las metodologías artísticas se convierten en pilares esenciales para la definición de criterios de excelencia, innovación, y desarrollo tecnológico. De hecho, la integración de las Artes en la corriente STE(A)M nos sitúa ante un nuevo marco de aprendizaje donde, a partir de problemas deseados, la curiosidad y el interés personal se convierte en motor y guía del conocimiento, un punto de partida para la exploración de diferentes soluciones a *nuestros* problemas, empoderando la imaginación y prestando especial atención al proceso de experimentación colaborativa, o *making*.

Palabras clave: educación STEAM, arte, educación.

### Abstract

Existing models of educational research should consider the tendency to integration of the arts in the context of the scientific disciplines (STEM to STEAM). In this new orientation, artistic practices are understood as a preparatory level for the pipeline and development of different knowledge and expertise, and artistic methodologies become pillars for the definition of criteria of excellence, innovation, and technological development. In fact, the integration of the arts into the current STE (A) M takes us to a new framework of learning where, from issues (outcomes) desired, curiosity and personal interest becomes motor and guide knowledge, a starting point for the exploration of different solutions to our problems, empowering the imagination and paying special attention to the process of collaborative experimentation, or making.

*Keywords: STEAM Education, art, education*

---

Correspondencia: Lourdes Cilleruelo, Departamento, UPV/EHU, Dirección. E-mail: lourdes.cilleruelo@ehu.es

### Introducción

La sociedad del SXXI nos enfrenta a un nuevo paradigma de conocimiento, complejo y variable, que debe ser abordado con eficacia, lo que ha llevado a muchos teóricos a poner en cuestión un sistema educativo basado, fundamentalmente, en la separación histórica entre humanidades y ciencias. Aunque actualmente los proyectos curriculares tratan las diferentes materias de modo independiente, las nuevas pedagogías reclaman por su parte la unión de la emoción y la razón (Robinson). Estas evidencias nos invitan a **revisar el papel actual de la Educación Artística en el curriculum**. En este artículo, se intentará abordar las nuevas oportunidades que se le abren a la Educación Artística (EA) como elemento vehicular para la construcción de un curriculum transdisciplinar.

Si, tal y como recoge la Recomendación del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión europea (2006) “hay una serie de temas que se aplican a lo largo del marco de referencia y que intervienen en las ocho competencias clave: el pensamiento crítico, la creatividad, la capacidad de iniciativa, la resolución de problemas, la evaluación del riesgo, la toma de decisiones y la gestión constructiva de los sentimientos”; la cuestión que se plantea es si el pensamiento artístico y su puesta en práctica (donde razón e intuición se relacionan de forma dialéctica para producir objetos orientados a la comunidad) no facilitan el aprendizaje de las destrezas y habilidades que los estudiantes necesitan. En opinión de Sousa y Pilecki “las destrezas que las artes desarrollan influyen en la creatividad, la resolución de problemas, el pensamiento crítico, la comunicación, la autonomía (self-direction), la iniciativa y la colaboración” (2013, p.15). De hecho, muchos científicos, matemáticos e ingenieros cuando evalúan sus propias actividades *a posteriori* ven en “ciertas cualidades artísticas” la clave para el éxito, porque tras éste, encuentran de forma recurrente la curiosidad subjetiva, la observación precisa, la percepción de los objetos de un modo diferente y el trabajo efectivo con otros.

En respuesta a dicha necesidad, en 2006, Georgette Yakman acuñó el término STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Math) como marco para la Educación a través de las disciplinas, un nuevo paradigma que plantea la Ciencia y Tecnología interpretada a través de la Ingeniería y de las Artes. Bajo ese esquema, los nuevos modelos de investigación educativa deberían de considerar la progresiva integración de las artes en el marco de las disciplinas científicas: el paso del STEM to STEAM (Resnick & Rosenbaum, 2013). La integración de las Artes en la corriente STE(A)M nos sitúa ante un nuevo marco de aprendizaje, donde a partir de **problemas deseados**, de las ganas de saber, la curiosidad se convierte en motor y guía del conocimiento, un punto de partida para la exploración de diferentes soluciones en una búsqueda permanente de la satisfacción personal. Este modelo de educación provee una **aproximación interdisciplinar integrada** conectada con el mundo real, y dirigida a la resolución de problemas (PBL). El vínculo entre arte, ciencia y tecnología permite el diseño de conexiones curriculares hasta el momento consideradas incompatibles, estableciendo un conjunto de nuevas relaciones entre competencias y temas del currículum.

En este contexto, las prácticas artísticas, y por extensión, las ligadas a la Educación Artística, pueden ser entendidas y valoradas en sentido **propedéutico**, como un ámbito previo de preparación para el aprendizaje efectivo, el entrenamiento de la capacidad de síntesis, o la canalización y desarrollo de diferentes saberes y conocimientos. En consecuencia, la aplicación efectiva de metodologías artísticas puede ir convirtiéndose en rasgo cualitativo esencial para la definición de criterios de excelencia metodológica, **innovación**, y desarrollo tecnológico (Moraza y Cuesta, 2010).

### **Materiales y Método**

En el marco del proyecto de investigación *Transformando la educación a través del Arte y los Media; Prácticas Transdisciplinares*, financiado por la UPV/EHU, en el que ha colaborado la Escuela Universitaria de Magisterio de Bilbao y la Facultad de Bellas Artes de la misma Universidad, un grupo de docentes e investigadores estamos desarrollando iniciativas concretas encaminadas a generar conocimiento transdisciplinar. Este texto se hace eco de las propuestas metodológicas apuntadas en la introducción, y muestra una implementación práctica (experimentación/acción) que ha puesto de relieve, por un lado, los condicionantes imperantes, y por otro, las estrategias necesarias para poder desarrollar en la práctica metodologías de trabajo orientadas al aprendizaje y al placer estético<sup>1</sup>: mediante el desarrollo de proyectos personales. Estas dos cuestiones, (condicionamientos y estrategias), nos pueden llevar a una revisión de la definición y del ámbito de actuación de una Educación Artística que no se limite a la construcción de la identidad (como es el caso de la corriente denominada Cultura Visual) sino que asuma también el reto de facilitar espacios de investigación y de innovación educativa en los que los problemas deseados conciten de manera puntual y variable los diferentes saberes y áreas de conocimiento, sean estos los que sean.

La metodología del proyecto de investigación está asentada en tres anclajes, que se interrelacionan y avanzan trenzándose dinámicamente. En primer lugar, se está generando **un registro o base de datos**, una cartografía y mapa de conexiones de instituciones que trabajan en el ámbito de las prácticas transdisciplinares, procurando una identificación y categorización de las diferentes líneas de trabajo que se están desarrollando actualmente. En segundo lugar, se pretende aprender a establecer **contacto con científicos** de aquellas áreas de conocimiento que puedan estar vinculadas de alguna manera con nuestras propuestas, pero sobre todo conocer de primera mano lo que se espera de las artes desde ese ámbito. Este acercamiento nos ayudará a tomar conciencia del espacio de legitimidad de las prácticas artístico-tecnológicas contemporáneas, desde el punto de vista de una sociedad del conocimiento hipertecnificada.

En tercer lugar, se están desarrollando diferentes hilos argumentales, en forma de propuestas teórico-prácticas concretas, con la finalidad de ser implementadas en el contexto docente y de investigación. Estas **propuestas**, auténticos *McGuffin* (pretextos que desencadenan y guían la acción) o herramientas heurísticas si se quiere (Pólya, 1973), sirven, por un lado, de *hoja de ruta* a la hora de establecer contactos preliminares con instancias del ámbito tecno-científico, y por otro, son susceptibles de ser articuladas y rentabilizadas como material artístico y didáctico, adquiriendo, por

ejemplo, forma de juegos de rol, prácticas docentes transdisciplinares, Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), exposiciones artísticas, etc.

Así, estas tres líneas de actuación, **lo subjetivo, lo objetivo y el campo social** se imbrican en una estructura en la que es posible generar racionalidad y conocimiento *know-that+know-how+know-why* (Mooney, 2012). Tal y como apunta este autor mientras que en educación existen nuevos temas para el futuro, ciertas dimensiones permanecen inamovibles. Históricamente la educación se ha centrado en esa primera dimensión *know-that* y ha dejado de lado el *know-how* y el *know-why*, elementos indispensables para el conocimiento completo.

## Resultados

### 1. Identificación de perfiles de actuación en la aproximación a la educación STEAM: el movimiento Maker

La integración de las artes puede entenderse desde diferentes perspectivas (Burnaford, G. Brown, S. Doherty, J. y McLaughlin H.J., 2007). El movimiento *maker* puede suponer un modo de integración de las artes en el sistema educativo dentro de la corriente STEM to STEAM. Este movimiento cobra cada día más fuerza debido al abaratamiento de impresoras 3D y a la popularización de microcontroladores (arduino, raspberry pi, makey makey) puesto que permiten la fabricación de objetos customizados y prototipado a bajo coste. Los makers al igual que los artistas “necesitan crear”, entregados en un proceso de exploración continua de lo “que pueden hacer y pueden aprender a hacer” ambos motivados por objetivos internos, y ajenos a recompensas extrínsecas.

#### 1.1. DIY. Do It Yourself! Making + Tinkering with tinkerability. Problemas deseados

La cultura del **DIY (Do It Yourself!)** o hágalo usted mismo nos sitúa ante una nueva era de “ciencia de garaje” interconectada que centra su atención en el prototipado o diseño personalizado emancipado de la producción industrial (Freire, J.), en el que prima la experimentación y exploración de los nuevos medios suscitado por un interés en el funcionamiento y contenido de la propia tecnología inducidos por la búsqueda de una alternativa al consumo tecnológico marcado por las grandes compañías. Este movimiento se caracteriza por la utilización de elementos *low cost* o de bajo coste y del uso tanto de alta como baja tecnología, en un diálogo creativo constante con los materiales.

El **making en el entorno educativo** puede describirse como un aprendizaje basado en proyectos o aprendizaje práctico centrado en el proceso, cuyo objetivo no se centra en la de productos artesanales sino que reivindica una exploración activa del mundo que nos rodea. El contexto de enseñanza-aprendizaje deriva desde un proceso marcado por demasiada información, instrucciones, interrupciones e intervenciones - *TMI, Too Much Information-* al *Think, Make, Improve* -Pensar, Crear, Mejorar- (Libow y Stager, 2013). Este cambio metodológico centra su principal punto de interés en el

*making* como parte del proceso donde los estudiantes juegan, construyen, juegan, experimentan, testean estrategias y materiales, comparten conocimiento, y documentan su aprendizaje.

El **tinkering** o cacharreo supone una aproximación al movimiento *maker* como “un estilo válido y valorable” desde el que afrontar problemas deseados. Dicho estilo se caracteriza por “un compromiso lúdico, experimental e iterativo, en el que los *makers* están continuamente revaluando sus objetivos, explorando nuevos caminos e imaginando nuevas posibilidades” (Resnick and Rosenbaum, 2013, p.164). En este sentido el *tinkering* es el modo de pensamiento que permite integrar de un modo natural las artes en el proceso de enseñanza-aprendizaje. A este respecto resulta interesante la aproximación *kindergarten* al aprendizaje aportada por Resnick (2007) quien inspirado en el jardín de infancia propone un ciclo procesual en forma de espiral en el que los estudiantes desarrollan y refinan sus capacidades como pensadores y también como hacedores creativos a largo plazo sin un final definido. Los estudiantes “*Imaginan*, lo que quieren hacer, *Crean* un proyecto basado en sus ideas, *Juegan* con sus creaciones, comparten sus ideas y sus creaciones con otros, *Reflexionan* sobre sus experiencias- todo lo cual les lleva a imaginar nuevas ideas y proyectos”. Este modelo se revela como el paradigma para el desarrollo de las competencias necesarias para la sociedad del S XXI, el pensamiento crítico y la capacidad creativa, y se revela como principal garante del aprendizaje a lo largo de la vida

Por tanto, la investigación científica a través de las artes empodera la imaginación prestando especial atención al proceso de experimentación o *making*, cuyo principal motor es el deseo e interés de aquél que lo realiza. La resolución de problemas marca un recorrido curricular transdisciplinar, que dibuja un mapa de pecoreo dictaminado por el proceso de resolución de un ansia de saber. Aquí, el concepto de diseño se entiende como “la capacidad de representar y desarrollar tareas y procesos de trabajo para resultados deseados” (Davies, Fidler y Gorbis, 2011, p. 11). Tal y como apunta Ares “si los hermanos Wright hubieran tenido que conocer todas las sutilezas del vuelo de las aves, nunca habrían volado. Casi podemos decir que las aves tan sólo eran la prueba de que el vuelo de los objetos más pesados que el aire era posible. Todo lo demás fue inventado” (Ares, 2008, p.284)

## **1.2. DIWO. Do It With Others! Sobre los makerspaces: connected learning, open-ended process. Peer-production**

Brennan, Monroy-Hernandez y Misnick (2010) constatan la idea de que los jóvenes deben tener las mismas oportunidades para consumir como para crear medios interactivos, para lo que se deben desarrollar ciertas disposiciones y capacidades, pero también apuntan a la necesidad de **facilitar el acceso a contextos en los que desarrollarse como creadores**. Los fablabs, espacios makers. Estos espacios configuran un modelo en que la cultura del “escuchar” se transfiere a la cultura del hacer como fuente de innovación, un movimiento social protagonizado por un creciente número de individuos interconectados en comunidades definidas por intereses y objetivos comunes (Dougherty, 2013). El *tinkering* también participa de estos modelos sociales y se revela como “la única actividad, que, combinando fuerzas creativas y sociales, abarca el juego y el aprendizaje” (Sousa y Pilecki, 2013, p. 46).

makerspaces son centros comunitarios con herramientas. Makerspaces combinar equipos de fabricación, la comunidad y educación a los efectos de permitir que miembros de la comunidad de diseño,

prototipos y crear obras manufacturados que no sería posibles crear con los recursos disponibles para individuos que trabajan solos. Estos espacios pueden tomar la forma de individuos libremente organizados, compartiendo espacio y herramientas, empresas con fines de lucro, corporaciones sin fines de lucro, organizaciones asociadas o alojados dentro de las escuelas, universidades o bibliotecas y mucho más. Todos están Unidos en el propósito de brindar acceso a equipo, comunidad y educación, y todos son únicos en exactamente cómo se arreglan para adaptarse a los efectos de la comunidad que sirven,

Las dinámicas de creación/aprendizaje que se establecen en los espacios físicos y virtuales el aprendizaje conectado en Red o *connected learning* (Ito et al, 2013) aboga por un concepto ampliado de aprendizaje impulsado por el interés personal, el apoyo social proporcionado por la comunidad y su posible reorientación y conexión académica en términos dinámicos. “Este modelo se basa en la evidencia de que el aprendizaje más resiliente, adaptativo y efectivo incluye tanto el interés personal como el apoyo social para superar las dificultades y alcanzar reconocimiento” (Ito et al, 2013, p.4). El aprendizaje conectado ve en las comunidades digitales una nueva oportunidad educativa para la gente joven, en cuanto que aporta nuevos formatos atractivos para la interactividad y la expresión personal: facilita el acceso a la información y el conocimiento desde una perspectiva cultural más amplia y diversa, y proporciona apoyo social a través de sus redes y comunidades sociales.

## **2. Redes transdisciplinares. Tejiendo redes, metodologías de trabajo basadas en procesos open-ended, conocimiento abierto y compartido, educación entre iguales**

El astrofísico Roger Malina habla de la importancia de entablar metodologías de trabajo para la colaboración entre científicos y artistas.

Hasta el momento, esta iniciativa va tomando cuerpo en base a una serie de contactos con distintas instancias procedentes del ámbito científico, que se han verificado a través de charlas y encuentros de carácter puntual promovidos por la propia UPV/EHU<sup>ii</sup>, y de citas y entrevistas concertadas con representantes concretos del ámbito académico. En dichos encuentros, se han puesto en práctica nuestros pretextos, esas *hojas de ruta* que han permitido desarrollar protocolos de comunicación específicos, en base a casuísticas concretas y acotadas. Además de constituir *per se* auténticas propuestas artísticas, estas casuísticas a las que aludimos tienen un valor heurístico a nuestro juicio imprescindible. De hecho, están construidas atendiendo a un enfoque que busca fomentar “estados creativos” mediante propuestas inspiradas en la sinéctica (Gordon, 1961), con un grado de provocación suficiente como para generar reacciones no sólo racionales, sino también de carácter emotivo.

## **3. Resultados de la implementación. La educación STEAM en la práctica**

Queremos complementar el marco teórico de aprendizaje que hemos intentado ir describiendo en las líneas precedentes, con un ejemplo práctico que ilustre las claves principales en las que se inscribiría cualquier iniciativa que fuera a desarrollarse en dichos parámetros. Con esa intención, pasaremos a describir de forma resumida un proceso práctico que llevamos un tiempo desarrollando, que nace del interés que ha despertado en nosotros el tema genérico de las redes neuronales y el conexionismo. En concreto, el proyecto teórico-práctico en el que estamos trabajando explora la posibilidad de aplicar conocimientos básicos procedentes de la electrónica analógica, la óptica, y de la biología, a la finalidad de desarrollar objetos biomiméticos que ayuden a comprender y familiarizarse con los fundamentos de dichas áreas de conocimiento, desde el placer aristotélico derivado de la imitación de las obras de la naturaleza.

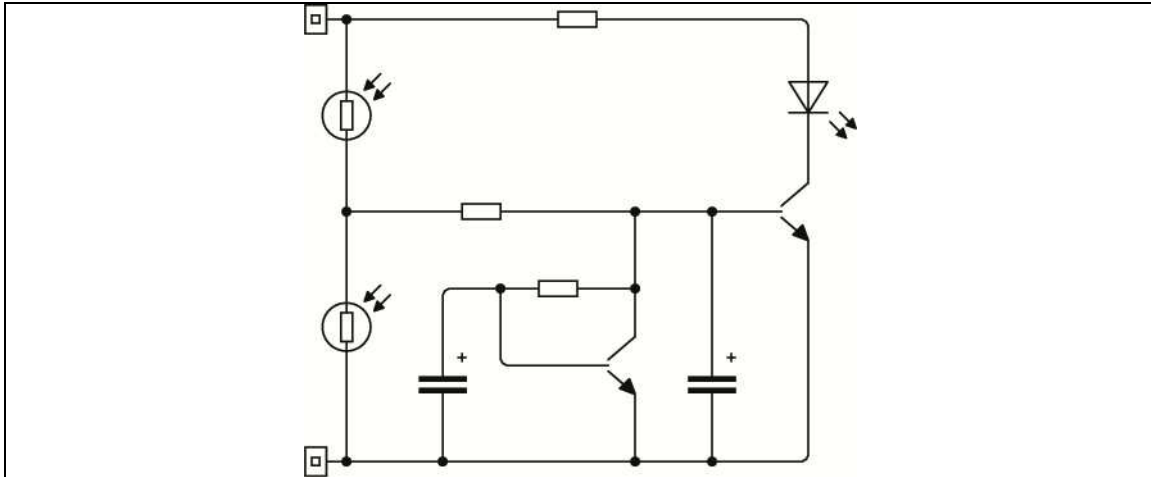
El proceso se articula a partir de la construcción de un imaginario, de la búsqueda de información, del empoderamiento en recursos técnicos y procedimentales, y de la puesta en práctica de distintas líneas de desarrollo técnico y conceptual, en el ámbito específico del diseño y desarrollo de unos prototipos de neuronas, y su posible conectabilidad en redes y aplicaciones programables, utilizando recursos de electrónica analógica *low-tech*. Nuestra intención es que los contenidos del proceso de investigación-aprendizaje sean fácilmente inteligibles y económicamente reproducibles en entornos de aprendizaje de Educación Secundaria, para lo cual nos parece interesante desarrollar los contenidos, no tanto desde un conocimiento experto previo de la materia a tratar, sino desde una curiosidad potente e ilusionada, pero solo relativamente informada, que es un estado mental familiar a la pura voluntad creativa, donde la imaginación, solo parcialmente informada, genera un estilo de pensamiento afín al juego, rellenando las lagunas de conocimiento que se muestran inaccesibles al aprendizaje efectivo (know how), con sobreentendidos que hagan avanzar la historia, en un marco en el que realidad y ficción pueden llegar a mezclarse en un juego de representación en el que casi todo es a priori posible.

Así, nuestro juego nos está sirviendo para entender, desde un acercamiento orientado por la curiosidad activa, el principio de funcionamiento de las neuronas, y de las diversas configuraciones de redes presentes en los organismos biológicos, pero también ha ido generando sobre el terreno piezas de arte tecnológico, que ya han sido expuestas en varias exposiciones artísticas (Trait d'Unión, Bide Zabalak) y materia para la reflexión, desarrollada en publicaciones científicas (Zubiaga, Cilleruelo, y Tobar, 2013).

### **3.1. Desarrollo de la iniciativa:**

Nuestra primera iniciativa consistió en intentar desarrollar un prototipo de neurona electrónica que simulara de forma efectiva las capacidades y características básicas de un modelo neuronal genérico, donde podemos encontrar un cuerpo o soma, un axón que transmite el impulso de activación de dicha neurona, y unas sinapsis excitadoras e inhibitoras que inducirían a dicha neurona a ser excitada o inhibida. Las dendritas o ramificaciones mediante las cuales las neuronas serían interconectadas para ser excitadas o inhibidas constituirían el elemento definitivo a simular. El proceso de búsqueda de información nos ha llevado a tomar en consideración acercamientos que se realizaron en los años 40 del siglo XX, y en concreto al modelo McCulloch-Pitts, y otros, donde se establece (1) la analogía entre la carga y descarga de una neurona, con la carga y descarga de un tándem resistencia-condensador. Hay infinidad de circuitos electrónicos analógicos que utilizan el tándem resistencia-condensador con fines de temporización. El siguiente elemento que nos ha sido necesario simular ha sido el de determinar la naturaleza del impulso que generaría cada neurona. Las simulaciones clásicas generan un impulso eléctrico que se dispara en función del grado de excitación de la neurona. Nosotros pensamos que sería visualmente más atractivo, y más didáctico en el plano de la comprensión de los fenómenos, (2) traducir ese impulso eléctrico a una señal luminosa visible. Ello nos llevó a diseñar un tipo de circuito que activara o desactivara una señal luminosa, en concreto un *led*. Asumir el carácter óptico de la señal nos llevó a interesarnos por la forma en que (3) las neuronas pudieran ser sensibles a la luz, lo que nos puso ante el campo de la optoelectrónica. Hicimos pruebas con distintos

dispositivos o sensores optoelectrónicos, como los LDR, los fotodiodos y los fototransistores, y descubrimos también que los libros de texto de tecnología de Educación Secundaria, y por supuesto Internet, son una fuente de información inagotable y permanentemente renovada en este campo. En nuestro caso, el diseño final de nuestra unidad neuronal fue influido en parte por nuestras experiencias con “Interruptores crepusculares”, fundamentados en la incidencia de una cantidad de luz determinada sobre un sensor fotosensible (LDR). Podemos decir que el diseño final se ha fundamentado en una hibridación entre un interruptor crepuscular y una temporización resistencia-condensador.



*Figura 1.* Esquema del circuito electrónico simulador de neurona

El siguiente requerimiento al que nos enfrentamos fue el de ser capaces de (4) conectar entre sí las distintas unidades neuronales. Para ello, tras unos primeros intentos basados en la proximidad física entre emisores y detectores de luz, optamos por hacer uso de hilos de fibra óptica para establecer las conexiones “dendríticas” entre neuronas. El sistema se ha revelado eficaz desde el plano técnico, y además otorga a los entramados que vamos desarrollando un marcado carácter plástico, en el plano de la representación estética de un corte histológico. De forma más o menos consciente, nos hicimos eco de las bellísimas representaciones de imágenes microscópicas que hallamos en los dibujos de cortes anatómicos de tejido neuronal realizados por Santiago R. y Cajal, que afloraron en instalaciones como Zaintza Bereziak, donde expusimos por primera vez un montaje con nuestras neuronas interconectadas mediante fibra óptica.



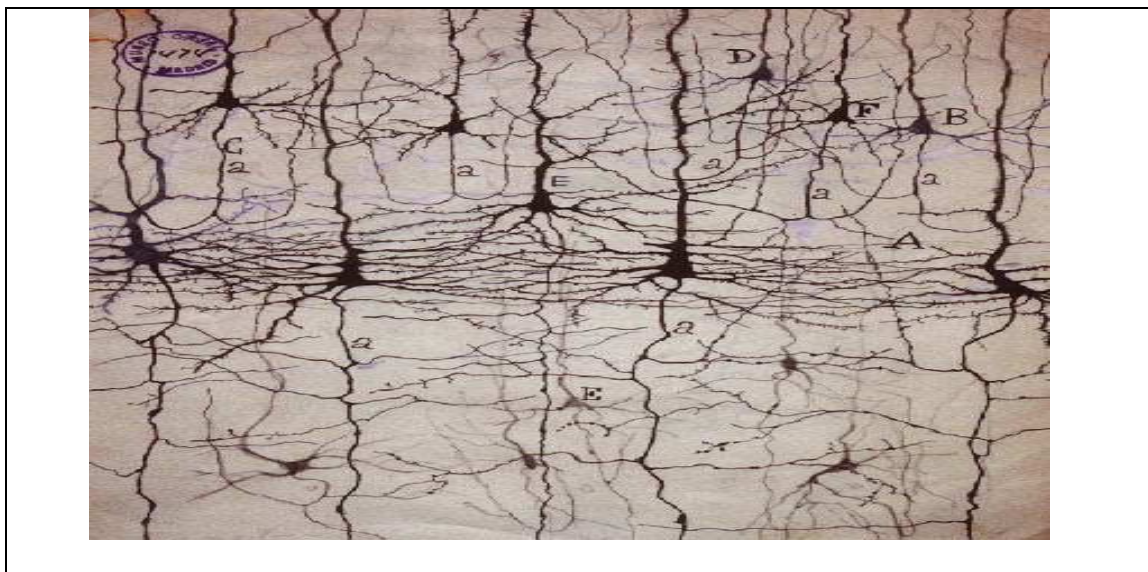


Figura 2. Cajal, red de células nerviosas

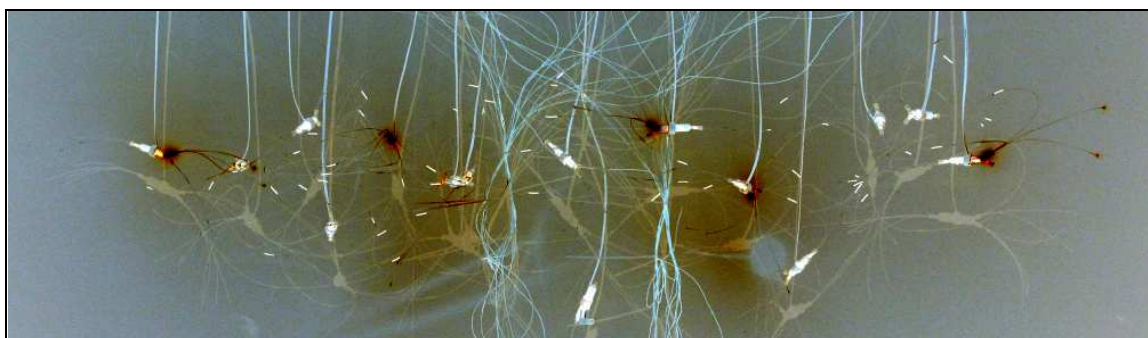
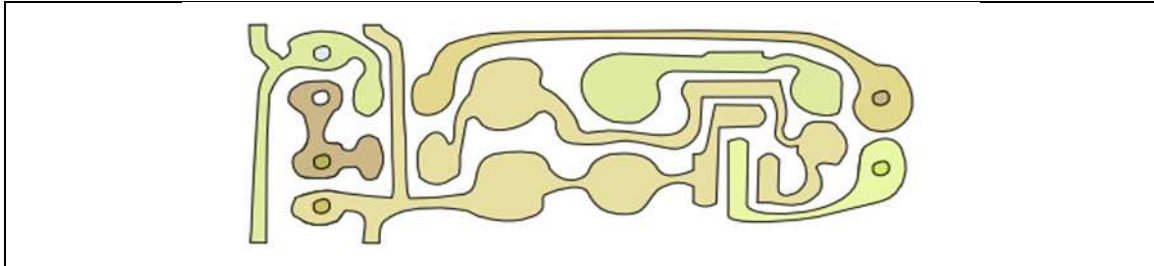


Figura 3. Augusto Zubiaga. Zaintza Bereziak. Exposición Bide Zabalak. Sala Portalea, Eibar

Así, el desarrollo progresivo de nuestro trabajo nos ha llevado a interesarnos, en primer lugar, por el diseño técnico y el desarrollo de las unidades neuronales, pero pronto nos hemos dado cuenta de que una neurona por sí sola no es capaz de generar pautas de gran complejidad, -aunque nos sorprendimos al ver que una única de nuestras neuronas, autoexcitada, funciona como marcapasos, (corroborando alborozados ciertos esquemas de computación conexionista que habíamos consultado en bibliografía especializada (Smith, 1981) o directamente en Internet), lo que nos llevó a tomar confianza en los diseños que íbamos definiendo y poniendo en práctica. En cualquier caso, haber conseguido disponer de un modelo operativo de neurona ha sido un requerimiento previo que nos está permitiendo actualmente abordar e ir tomando conciencia de la cuestión de la complejidad creciente de los sistemas computacionales de inspiración biológica. En modelos sucesivos con tres, cinco, diez, y hasta treinta y dos neuronas, estamos constatando, desde la experiencia, el carácter exponencial de la

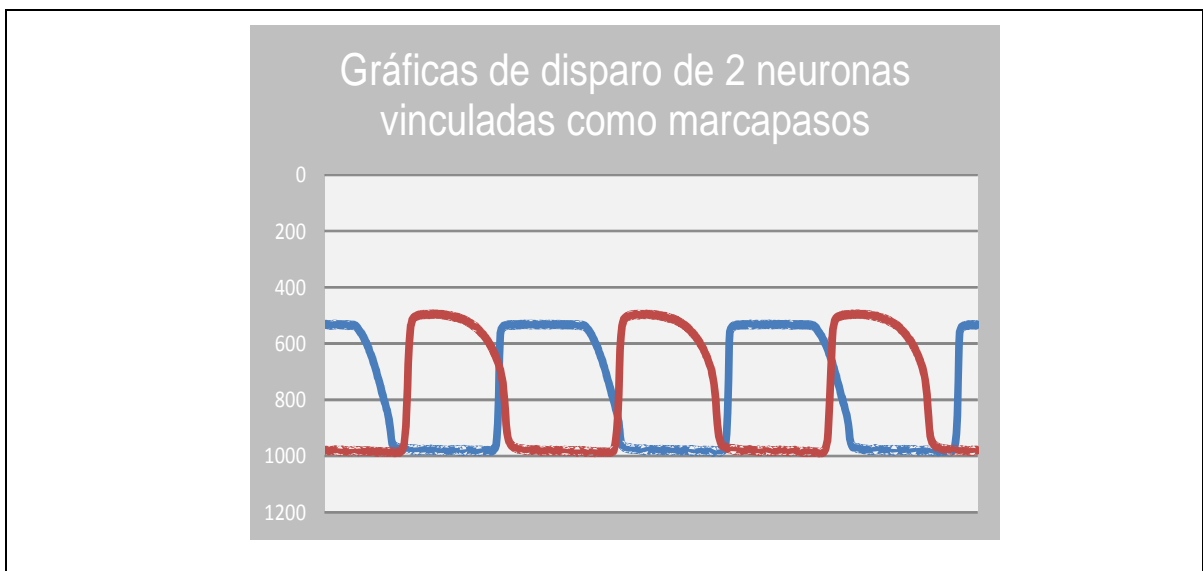
combinatoria derivable de la simple repetición de la arquitectura de una única neurona, con su output, su input inhibitor y su input excitador.

Conforme hemos ido desarrollando nuestros prototipos, nos hemos visto en la necesidad de hacer uso de un entorno de software que nos permitiera diseñar de forma rápida y eficiente distintas versiones de nuestros circuitos (Figura 2), y en concreto, el



*Figura 2.* Diseño de fotolito para grabado del circuito electrónico en placa de circuito impreso PCB  
(Dibujo vectorial Inkscape)

recurso a los sistemas informáticos basados en la computación convencional (digital) nos está sirviendo de gran ayuda a la hora de visualizar los datos generados por nuestros dispositivos. Así, hemos echado mano del entorno ARDUINO (nota), procesador programable orientado a la función didáctica, plataforma de acceso libre que cuenta con millones de usuarios en todo el mundo, e infinidad de foros on line, que nos ha permitido implementar de forma sencilla y eficiente recursos orientados a la monitorización en tiempo real del funcionamiento de nuestras neuronas. En concreto, mediante un sencillo código de lectura de inputs analógicos, hemos podido generar, de forma rápida, las gráficas correspondientes al funcionamiento de nuestras neuronas (Fig 3)



*Figura 3.* Gráfica de disparo de dos neuronas vinculadas como marcapasos

También se ha planteado la cuestión de la necesidad de una progresiva miniaturización de los elementos electrónicos, la mejora de los costes de producción, y de las técnicas de producción. Ello nos ha llevado a abordar, desde las necesidades concretas generadas por nuestro proyecto, el tema del diseño y realización de placas de circuito impreso (tema que podemos encontrar también en textos de Tecnología en Educación Secundaria) (Figura 4), y también el de la familiarización con los componentes más básicos de electrónica analógica, las resistencias, los condensadores, los transistores, los diodos las fororresistencias, las placas de prototipos, etc, e incluso tener en cuenta la posibilidad de sustitución de los componentes de electrónica analógica convencional por los más modernos componentes SMD (Sourface Mounting Device), más pequeños, baratos, y rápidos de montar, y a familiarizarnos con su técnica de montaje y soldadura. Una vez más, encontraremos en la red infinidad de tutoriales que nos ayudarán a ir resolviendo los problemas técnicos que se susciten. Una optimización de los diseños podría llevarnos incluso al ámbito de la colaboración con empresas que se hicieran cargo de la producción en serie de nuestros prototipos.

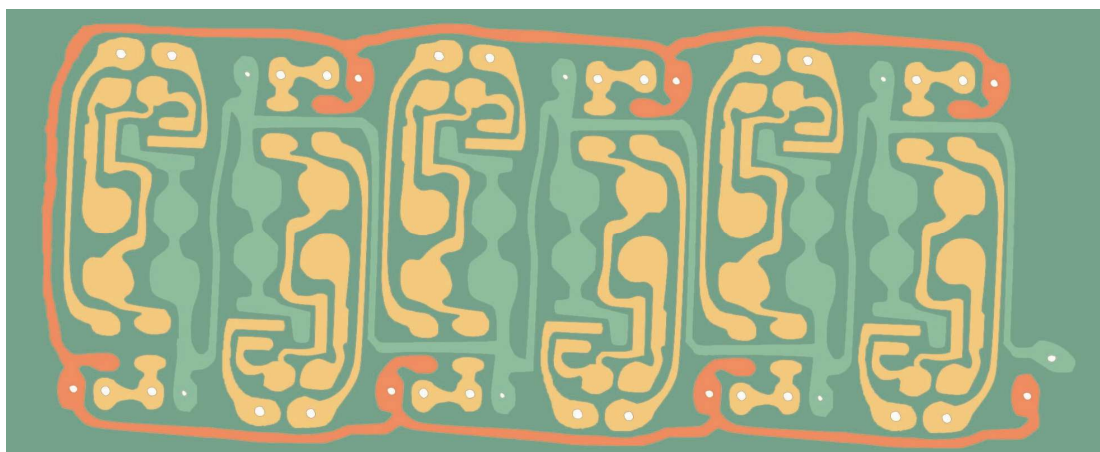
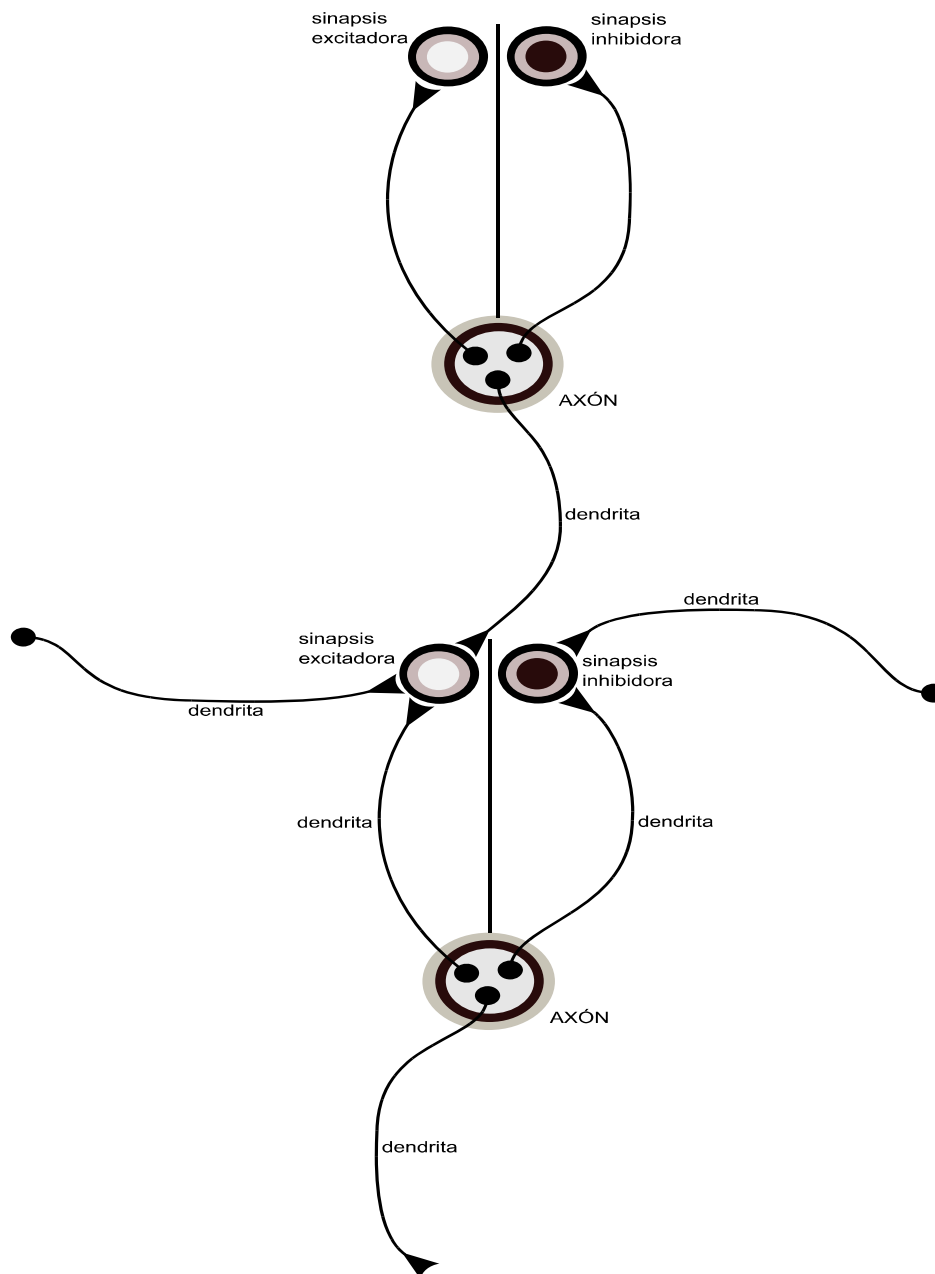


Figura 4. Estudio gráfico para integración de 6 unidades neuronales en una placa de circuito impreso

Como hemos visto, nuestra propuesta parte desde unidades optoelectrónicas simples y eficientes, que tratan de emular el funcionamiento de células nerviosas, y que pueden ir articulándose en configuraciones más y más complejas. Nuestros prototipos son técnicamente reproducibles en un entorno de aprendizaje informal, y debido a su flexibilidad y capacidad combinatoria, son capaces de emular, desde el comportamiento de una simple neurona, hasta la complejidad creciente y virtualmente infinita de las redes neuronales. Abordar dicha complejidad desde lo más sencillo quizás sea la forma más realista de acercarse al tema. Al intentarlo, se nos ha hecho inmediatamente imprescindible el auxilio de una representación clara y potente de nuestros mecanismos, sobre la que podamos ir anotando, como en un pentagrama, las composiciones que vayamos generando, composiciones que quieren fijar melodías o acordes neuronales (Fig 5). La notación gráfica que estamos desarrollando se hace eco de la forma habitual de representar la programación conexionista, y es por ello compatible con la mayoría de los diagramas que podemos encontrar en la literatura especializada. El reto que estamos abordando ahora es el de intentar definir un entorno práctico de creación, que parta de

la representación de lo simple hacia lo complejo, con ayuda de una sintaxis de programación, -que creemos que tiene mucho que ver con la notación musical-, que nos permita ir componiendo configuraciones conexionistas que nos ayuden a escuchar fenómenos computacionales, “músicas” que resuenan en los organismos biológicos. Comprobar la compatibilidad real y efectiva de nuestra implementación con los modelos teóricos existentes es una de nuestras principales prioridades, y para ello, a modo de



*Figura 5.* Estudio de expresión gráfica de los elementos funcionales constitutivos de las unidades neuronales, para una normalización de la gramática combinatoria. Las dendritas son simuladas mediante haces de fibra óptica que transmiten desde el axón la señal generada por cada neurona.

ejemplo, podemos mostrar nuestra versión del esquema conexionista de los impulsos motores de una cucaracha, extraído de una publicación científica, mediante una expresión gráfica normalizada de las conexiones neuronales propuestas por los autores de dicho modelo, y la posterior comprobación experimental que hemos realizado, y que puede consultarse en VIMEO.

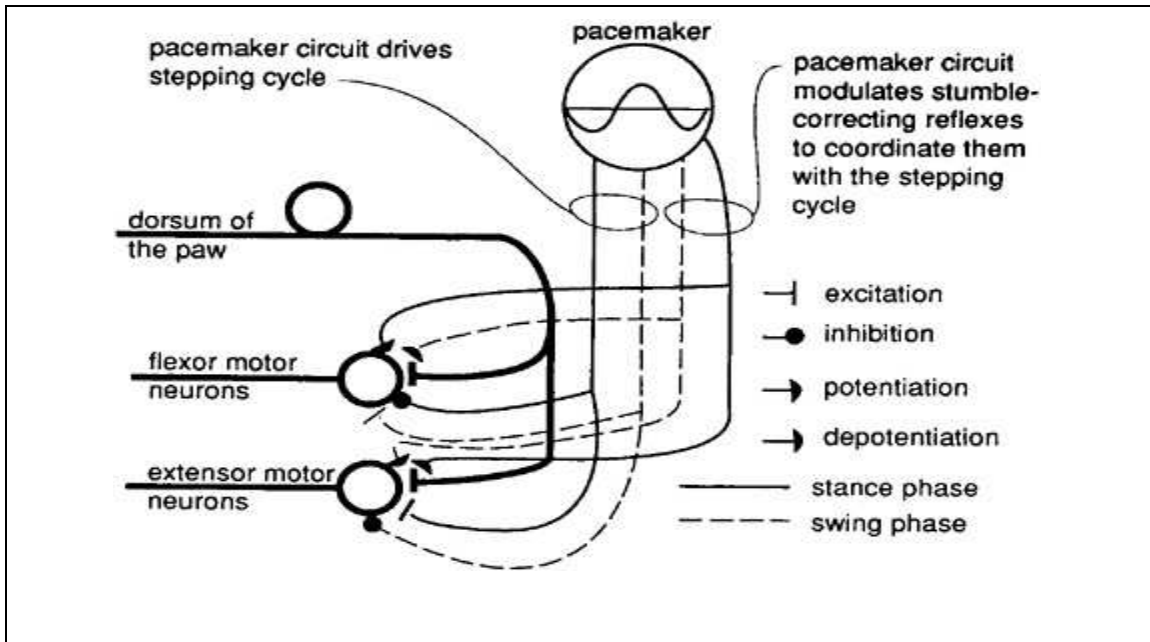


Figura 6. Esquema de red neuronal del reflejo motor de una cucaracha, extraído de: International Perspectives On Psychological Science, II: The State of the Art, escrito por P. Bertelson, Paul Elen G d'Yderwalle.

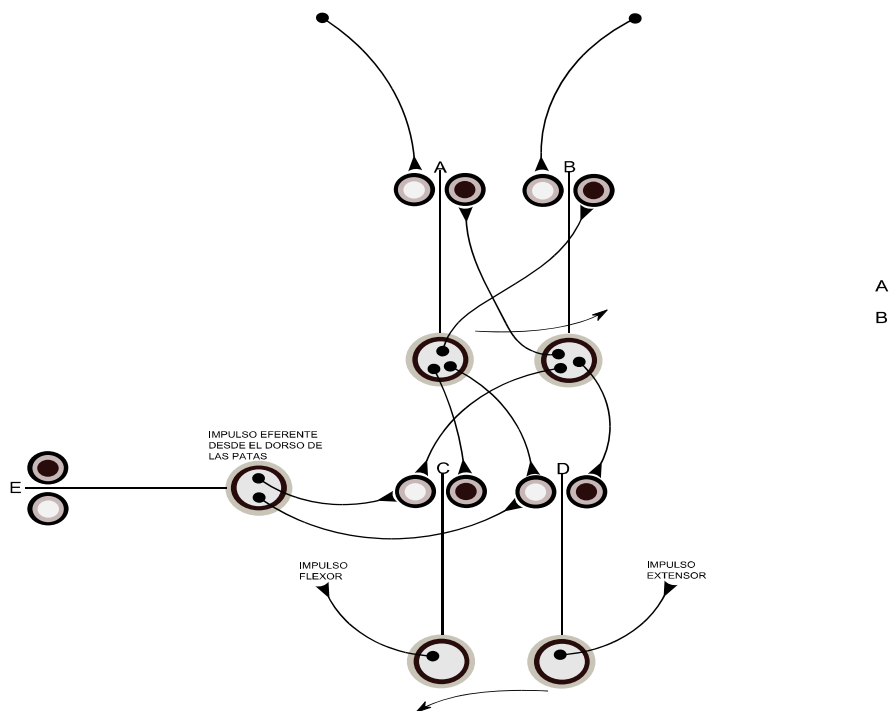


Figura 7. Nuestro esquema de red neuronal para representar la hipótesis de funcionamiento representada en la figura anterior.

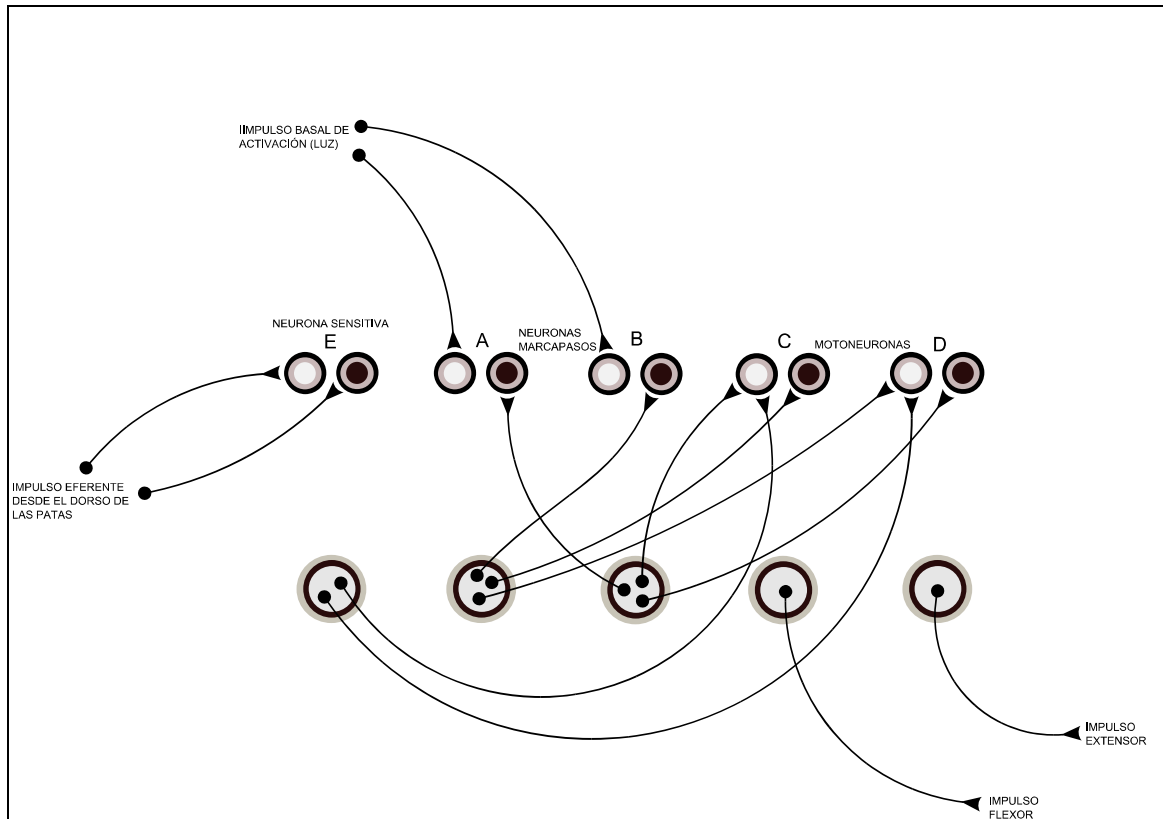


Figura 6. Nuestra notación normalizada del esquema de funcionamiento anterior, sobre una matriz de cinco neuronas



## Conclusión

La educación STEAM permite una aproximación al proceso de enseñanza-aprendizaje desde un proceso activo impulsado por un juego experimental que promueve la ruptura de barreras entre disciplinas e incluye múltiples posibilidades en la encrucijada arte, ciencia y tecnología. Desde el punto de vista docente, se puede constatar que el aprendizaje a partir del **tinkering o cacharreo** permite el acceso a planteamientos complejos de forma intuitiva y dirigidos por el interés personal, porque proporciona encuadres nuevos de relectura de modos de trabajo establecidos, facilitando procesos creativos (Gordon, 1961). Aprehender intuitivamente, visualizar datos satisfactoriamente, y sobre todo, sentirse capaz de operar con ellos con la ayuda de otros, es decir, controlarlos, puede fomentar el interés por áreas de conocimiento a priori opacas y abstractas. Además la aproximación STEAM permite atraer el interés de niños y mujeres a carreras científicas.

Este modelo reivindica un ámbito de investigación educativa transdisciplinar y transpersonal apoyado en comunidades físicas y virtuales (makerspaces) cuya base principal sea: el acceso abierto al conocimiento (sharing knowledge) orientado a un aprendizaje compartido (sharing learning) y entre iguales (peer-learning). La necesidad de crear makerspaces o espacios físicos y virtuales para la experimentación y la creación, fabricación de objetos con nuevos y viejos materiales (low/high tech). Por ello es fundamental incrementar aquellos recursos y redes de aprendizaje que permitan esbozar recorridos curriculares personalizados basados en los intereses personales, y la curiosidad como guía del conocimiento como queda evidenciado en el paso del STEM to STEAM.

Desde la perspectiva de la legitimación de las prácticas artísticas contemporáneas así como sus metodologías en el marco académico, se percibe que las prácticas ligadas al entorno del arte y la creatividad demandan con urgencia espacios y contextos donde sentirse útiles y reconocidas. Esta necesidad es aún más urgente cuando de lo que se trata es de asegurar para las prácticas transdisciplinares un espacio de legitimidad como mínimo poco desarrollado aún en el ámbito de la enseñanza artística universitaria. No se trata sólo de dar respuestas, sino también de encontrar preguntas. Deberíamos ser capaces de convencer a los científicos-tecnólogos que es bueno colaborar, para ir construyendo espacios+ donde sea posible integrar la praxis científico-tecnológica con la expresión artística y la realización personal.

Desde el punto de vista del **tipo de vínculos** que puedan irse generando entre artistas, pedagogos y científicos, y de la forma de abordarlos y consolidarlos, en el recorrido efectuado hasta el momento presente, hemos podido constatar que cuando se trata de concitar el interés del mundo científico, es problemático no abordar casuísticas concretas. Dejando de lado el escollo que supone trascender el estereotipo dominante por lo que respecta a las expectativas del ámbito científico cuando entra en contacto con el ámbito artístico, y viceversa, -problema que daría en sí mismo para una investigación

psico-sociológica sin duda muy fecunda-, el estilo de pensamiento científico/tecnológico puede ser bastante refractario o desconfiado cuando se trata de abordar cuestiones inconcretas, inespecíficas, o altamente especulativas procedentes del ámbito artístico. Por ello, las propuestas concretas, donde los interlocutores científicos tienen algo que entender, algo que abordar, algo que opinar, algo que enseñar, es decir, un marco definido en el que poder dar rienda suelta a su creatividad, son un punto de partida a nuestro juicio imprescindible para establecer un mínimo común denominador a la hora de pactar una comunicación fructífera. Este requerimiento demanda de nuestra parte un esfuerzo suplementario, porque se trata ni más ni menos que de seducir a los científicos en su propio terreno, de invitarles a reencuadrar su trabajo desde puntos de vista poco convencionales, pero también nos obliga a nosotros a dejarnos seducir y conducir por ellos. Roger Malina habla de la necesidad de establecer nuevas formas de colaboración entre científicos, ingenieros, artistas y diseñadores. Gabriela Regina, en una entrevista realizada al artista multidisciplinar Tomás Saraceno, extrae la conclusión de que esta imprescindible colaboración entre artistas y científicos es también difícilmente previsible: nace de una química especial, porque no todos los artistas pueden colaborar con todos los científicos en un plano de mutua satisfacción. Hacen falta espacios y oportunidades para conocerse y acordar objetivos comunes...

#### Referencias

- Ares, F. (2008). *El Robot enamorado. Una historia de la inteligencia artificial*. Barcelona: Ariel.
- Brennan, K., Monroy-Hernández, A. y Resnick, M. (2010). Making projects, making friends: Online community as catalyst for interactive media creation. En *New Directions for Youth Development*, Special Issue: New Media and Technology: Youth as Content Creators 2010: 75–83. doi: 10.1002/yd.377
- Burnaford, G. Brown, S. Doherty, J. y McLaughlin H.J. (2007). *Arts Integration. Frameworks, Research, and Practice: A Literature Review*. Washington: Arts Education Partnership. Recuperado de: <http://www.eugenefieldaplus.com/academics/A+%20research/artsintegration.pdf>
- Catlow, R. y Garret, M. (2007). Do it with others (DIWO): Participatory Media in the Futherfield Neighbourhood. En Da Rimini, F.(ed). *A handbook of codecultures*. Sydney: d/Lux/MediaArts and Campbelltown Arts Centre, Recuperado de: <http://www.dlux.org.au/codingcultures/CodingCulturesHandbook.pdf>
- Dougherty, D. (2013). The Maker Mindset. En Honey, M., y Kanter, D.E. (ed.) *Design, make, play: Growing the next generation of STEM innovators*. London: Routledge.
- Gordon W. J. (1961). *Synectics: The Development of Creative Capacity*. New York: Harper & Brothers.
- Ito, M. (2012). Zemos98 (Ed.). *Educación expandida*. Recuperado de: [http://www.zemos98.org/descargas/educacion\\_expandida-ZEMOS98.pdf](http://www.zemos98.org/descargas/educacion_expandida-ZEMOS98.pdf)
- Libow, S., Stager, G. (2013). *Invent To Learn: Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom*. Torrence, CA: Constructing Modern Knowledge Press.
- Mooney, B. (2012). Know-that, know-how and know-why: the unity of knowledge. En Coiffait, L. y Hill, J. (ed). *Blue Skies: New thinking about the future of higher education in the Asia Pacific region*. (pp. 66-69). Hong Kong: Pearson Asia



- Pacific. Recuperado de: <http://pearsonblueskies.com/wp-content/uploads/2012/11/Blue-Skies-APAC.pdf>
- Moraza, J.L. y Cuesta, S. (2010). *Campus de excelencia Internacional. El arte como criterio de excelencia. Modelo Ars: (Art:Research:Society)*. Madrid: Ministerio de Educación.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2006). Recomendación 2006/962/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente [Diario Oficial L 394 de 30.12.2006]. Recuperado de: <http://www.mecd.gob.es/dctm/ministerio/educacion/mecu/mecu-europa/eqf-recom-20080423.pdf?documentId=0901e72b806a600e>
- Pólya, G. (1973). *How to solve it. A New Aspect of Mathematical Method*. (2<sup>nd</sup> edition) New Jersey: Princenton University Press. Recuperado el 25 de octubre de 2013, de [https://notendur.hi.is/hei2/teaching/Polya\\_HowToSolveIt.pdf](https://notendur.hi.is/hei2/teaching/Polya_HowToSolveIt.pdf)
- Resnick, M y Rosenbaum, E. (2013). Designing for tinkerability. En Honey, M., y Kanter, D.E. (ed.) *Design, make, play: Growing the next generation of STEM innovators*. London: Routledge.
- Resnick, M. (2007). All I Really Need to Know (About Creative Thinking)I Learned (By Studying How Children Learn) in Kindergarten. En Creativity & Cognition conference, June 2007. Recuperado el 2 de abril de 2014, de <http://web.media.mit.edu/~mres/papers/kindergarten-learning-approach.pdf>
- Sefton-Green, J. (). Mapping digital makers. A review exploring everyday creativity, learning lives and the digital. *nominettrust* Recuperado de [http://www.nominettrust.org.uk/sites/default/files/NT\\_SoA\\_6\\_-\\_Mapping\\_digital\\_makers.pdf](http://www.nominettrust.org.uk/sites/default/files/NT_SoA_6_-_Mapping_digital_makers.pdf)
- Sousa, D.A., Pilecki, T. (2013). *From STEM to STEAM: Using Brain-Compatible Strategies to Integrate the Arts*. Thousand Oaks. CA: SAGE.
- Steps to an Ecology of Networked Knowledge and Innovation enabling new forms of collaboration among sciences, engineering, arts, and design. Recuperado de: [http://seadnetwork.files.wordpress.com/2014/01/volume\\_i\\_print\\_final.pdf](http://seadnetwork.files.wordpress.com/2014/01/volume_i_print_final.pdf)
- Yakman, G. *STEAM: A Framework for Teaching Across the Disciplines*. <http://steamedu.com>

Lourdes Cilleruelo, Doctora en Bellas Artes. Profesora Agregada y Directora del Departamento de Didáctica de la expresión Musical, Plástica y Corporal de la EU de Magisterio de Bilbao. Investigadora principal del proyecto de investigación “Transformando la educación a través del Arte y los Media: Prácticas transdisciplinares” Este proyecto investiga sobre el potencial de la educación artística como element principal para la construcción de un curriculum transdisciplinar.

Augusto Zubiaga, Doctor en Bellas Artes, Profesor Agregado del Departamento de Escultura de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad del País Vasco. Miembro del proyecto de investigación anteriormente mencionado.

---

í Respecto al vínculo entre placer estético y conocimiento, el concepto de mimesis aristotélica nos puede servir de marco referencial, un marco subrayado por la reflexión de Alejo Carpentier en *Los pasos perdidos*: “Llego a preguntarme a veces si las formas superiores de la emoción estética no consistirán simplemente, en un supremo entendimiento de lo creado.”

---

ii En este sentido nos referimos a acciones desarrolladas dentro de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea como es el caso del *Congreso Internacional ACC: Arte, Ciencia, Ciudad*, Bilbao 2013 (<http://www.artsciencecity.com/>); o el curso *El uso de los juegos de rol y simulaciones en la docencia universitaria: introducción teórico práctica*, 2012 organizado por los profesores Leire Escajedo e Igor Filibi.