

Gramática cinematográfica y animación 3D para la divulgación de la ciencia

Film grammar and 3D animation for science dissemination

Esteban Manuel Amador García

Universidad de La Laguna
eamadorg@ull.edu.es

Manuel Drago Díaz

Universidad de La Laguna
madradi@ull.edu.es

Jorge de la Torre-Cantero

Universidad de La Laguna
jcantero@ull.edu.es

Resumen:

Prestar especial atención al lenguaje audiovisual empleado en las producciones destinadas a la difusión del conocimiento científico, juega un papel importante en los procesos de transferencia del conocimiento y es crucial para despertar el interés por la ciencia. En la actualidad, nuestra cultura visual está fuertemente influenciada por el material audiovisual creado a través de la industria del entretenimiento, entre las que se encuentran la potente industria del videojuego y del cine, actores de un proceso de influencias mutuas repletas de afecciones recíprocas. En este trabajo se aborda la realización de material audiovisual destinado a la divulgación de contenido científico, haciendo uso de tecnologías gráficas avanzadas como el modelado y la animación 3D. El uso de esta tecnología se pone al servicio de una gramática visual heredada de la industria cinematográfica. La conjunción de ambos elementos se ejemplifica haciendo un análisis de la producción audiovisual de divulgación científica titulada *La célula. Unidad de vida*.

Abstract:

To pay special attention to the audiovisual language used in productions aimed at the dissemination of scientific knowledge plays an important role in the processes of knowledge transfer and it is crucial to arouse interest in science. Nowadays, our visual culture is strongly influenced by the audiovisual material created through the entertainment industry, including the powerful video game industry and cinema, both actors in a process of mutual influences full of reciprocal affections. This work addresses the production of audiovisual material aimed at the dissemination of scientific content, making use of advanced graphic technologies such as 3D modelling and animation. The use of this technology is at the service of a visual grammar inherited from the film industry. The conjunction of both elements is exemplified by an analysis of an audiovisual production for scientific dissemination entitled *The cell. Unit of Life*.

Palabras clave: Gramática cinematográfica; divulgación científica; animaciones 3D; modelado 3D.

Keywords: Film Grammar; Scientific Dissemination; 3D Animation; 3D Modeling.

1. Introducción

La ciencia ha encontrado en la ilustración científica una importante disciplina para la comunicación visual con la sociedad (Bayo, Menéndez, Fuertes, Milán y Mecha, 2019). Históricamente, la ilustración científica ha incidido enormemente en el desarrollo del conocimiento científico y su mediación ha protagonizado una innegable labor para su difusión y divulgación. La ilustración científica forma parte de una larga tradición de siglos en la que arte y ciencia se funden para intervenir juntos en el desarrollo del conocimiento en nuestras sociedades (Anderson, Barnes y Shackleton, 2011). En las últimas décadas se ha generado una extensa literatura sobre esta disciplina (Boon, 2008; Gouyon, 2016; Winston, 2012).

Un elemento de la iconografía contemporánea que emerge en importancia dentro del campo de la ilustración científica y que ha cobrado gran protagonismo entre las visualizaciones para la ciencia es la animación 3D (Lowe y Ploetzner, 2017). Es un medio que está amalgamando visualizaciones en el campo científico haciendo uso de tecnologías gráficas avanzadas de gran versatilidad creativa que permite representar, con relativa facilidad, procesos dinámicos. La producción y comunicación de información en formatos visuales es un hecho generalizado y la imagen científica también participa en esta tendencia.

La animación 3D es un formato que facilita la inclusión de la dimensión temporal en la ilustración de cualquier proceso dinámico mediante la generación de una infografía animada. La animación está ligada de forma inherente al movimiento; este hecho le otorga un gran potencial para representar procesos con variaciones espacio temporales, como los fenómenos naturales o procesos físicos y biológicos. Esta especificidad ofrece una incuestionable ventaja sobre otras formas de representación a la hora de ilustrar el movimiento, la variación y el cambio, lo que la capacita para asistir en la asimilación de información de procesos dinámicos. Las técnicas digitales son tan versátiles que su uso permite ir más allá de la ilustración, puede incluso llegar a facilitar una afirmación científica o que se fundamenten hipótesis (van Dijck, 2006).

Si lo comparamos con otros recursos, se podría considerar que se encuentra en un estado incipiente, quedando mucho terreno por cubrir en lo que se refiere a la producción de visualizaciones dinámicas y al estudio de su efectividad comunicativa. Esta situación difiere de lo que ocurre con otras técnicas más tradicionales, como la ilustración científica para libros de texto, que lleva más años de existencia y han tenido una mayor trayectoria, a la vez que cuentan con décadas de experiencia y práctica acumulada. En cambio, los creadores de animaciones no cuentan con esa misma trayectoria, por lo que no disponen de una tradición consolidada en el empleo de esta técnica como herramienta de comunicación.

En otros ámbitos, como la publicidad o en la industria del entretenimiento, se hace uso extensivo de la animación, siendo los videojuegos el paradigma en el uso de este formato. Los creativos encargados de realizar el diseño de animaciones para estos sectores, entre sus estrategias y pautas de producción, prestan gran atención a las características psicológicas del cerebro humano, de sus limitaciones y particularidades, utilizando un sin fin de recursos para sortear y superar esos inconvenientes con el fin de hacer llegar su mensaje e información de forma efectiva; la capacidad de mantener la atención y entretener son una de sus principales recursos.

En este sentido, es fundamental la manera en la que se comunica el conocimiento cuando lo que se pretende es proveer una cultura científica de calidad y al mismo tiempo captar la atención del observador. De esta manera, se puede estimular en los jóvenes el interés por la ciencia y promover las vocaciones científicas (Macedo y De Montevideo, 2016).

Las tecnologías gráficas digitales facilitan los medios para que científicos y creadores visuales comuniquen y divulguen contenidos de forma verosímil manteniendo el rigor científico sin que vaya en menoscabo de su estética visual. Las animaciones 3D son un medio ideal para recrear todo tipo de contenidos con realces de detalles visuales y un recurso con las suficientes herramientas para generar gráficos con garantía de poder atender a aspectos emocionales. Esta tecnología nos permite elaborar una narrativa de contenidos complejos sin la otrora necesidad de síntesis, que, en gran parte, condicionaba la ilustración científica dadas las limitaciones técnicas. Mediante el modelado y la animación

3D se puede describir prácticamente cualquier fenómeno científico con la posibilidad de optar por una mimesis de los procesos con poca pérdida en el nivel de detalle.

Las creaciones con contenidos científicos han cobrado gran relevancia dentro de las producciones visuales, consolidándose como un subgénero dentro de las producciones cinematográficas en la forma de cine científico.

Hacer visible, a la vez que inteligible, aquello que se escapa a nuestros sentidos es uno de los cometidos principales de la ilustración científica y es una labor que conlleva una particular estrategia, tanto en términos retóricos como estéticos. El lenguaje cinematográfico puede ser un aliado importante para la realización de esos objetivos. Recursos tales como el ángulo de cámara, la continuidad en la narrativa, los cambios de planos, la composición o los primeros planos son algunos de los elementos fundamentales que han ayudado al cine en su función comunicativa y narrativa (Mascelli, 1965). De igual manera, tanto estos como otros recursos de la gramática cinematográfica pueden dotar a las producciones destinadas a la divulgación de una calidad visual y narrativa similar a la del cine.

La esencia de la cinematografía sigue estando fundamentada en los conceptos tradicionales de iluminación y fotografía (Malkiewicz y Mullen, 2009), tales conceptos, y todo lo que los constituyen, no deben descuidarse en cualquier producción audiovisual de calidad. En los modos de producción cinematográfica más actuales, como pueden ser las producciones virtuales, aquella que se realiza por medio de cámaras, iluminación y escenarios virtuales, se recurre a estos conocimientos y continúan siendo muy parecidas a las prácticas cinematográficas más antiguas (Maddock, 2019).

En estudios recientes (Davis y León, 2018) se analizan vídeos online sobre ciencia y se constata que, en concreto, se hace poco uso de aquellos que tienen una especial función de involucrar al público o de realzar la imagen, como la cámara lenta, el time-lapse, o de la narrativa. Esto parece indicar que es necesario potenciar una cultura del lenguaje cinematográfico para su uso en las producciones destinadas a la divulgación científica.

El lenguaje cinematográfico tiene un impacto considerable a la hora de involucrar al observador y hacer más atrayente las visualizaciones, además de facilitar la comunicación y transferencia de contenidos.

Tras lo expuesto, se puede deducir que las producciones destinadas a la divulgación, dada su función comunicativa, podrían beneficiarse de las características que posee el lenguaje cinematográfico, en su objetivo de comunicar ciencia.

En este trabajo se parte de una investigación empírica de tipo cualitativo, bajo la hipótesis de que se puede producir una mejora significativa en la creación de productos audiovisuales destinados a la ciencia, empleando tecnologías gráficas avanzadas como el modelado y la animación 3D, en combinación con elementos de la gramática cinematográfica.

Desde un punto de vista metodológico, se aborda la relación existente entre el uso de las tecnologías gráficas avanzadas y el desarrollo de material audiovisual destinados a la divulgación de contenido científico. Esta relación se ejemplifica en el audiovisual titulado “La célula. Unidad de vida”, en el que se describen la morfología y fisiología de la célula. Esta es una producción cofinanciada por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).

Por otro lado, y de manera analítica, se identifican elementos de la gramática cinematográfica presentes en ese audiovisual y se estudian sus particularidades en busca de elementos significativos que enriquecen los aspectos comunicativos de la producción. Este análisis se respalda con estudios recientes en el ámbito de las ciencias cognitivas.

2. Importancia de la divulgación científica

Desde diversas instituciones, como la UNESCO, se ha incidido a través de distintos informes sobre la necesidad de una cultura científica de calidad (Macedo y De Montevideo, 2016). También se avisa sobre la importancia de tener una sociedad científicamente preparada, ya que la ausencia de cultura y formación científica en nuestras complejas sociedades va en detrimento de su calidad democrática. Para ello es necesario que se mejore la manera en cómo se presenta

el conocimiento, y poder así despertar en los jóvenes interés por la ciencia y promover las vocaciones científicas.

En nuestras sociedades tecnificadas, donde la presencia de la actividad científica es casi generalizada, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad. En nuestras experiencias cotidianas precisamos recurrir a la información científica con frecuencia y es imprescindible poder implicarnos con solvencia en asuntos relacionados con avances científicos y tecnológicos (*National Science Education Standards*, 1996). Por este motivo, la cultura científica es una apuesta que, tanto desde las instituciones políticas como educativas se debe fomentar de forma decidida. Por ello, son primordiales todos los esfuerzos que se puedan realizar en investigar sobre medios, métodos, herramientas y formatos que permitan hacer realidad esa transferencia de conocimiento (Bayo, Menéndez, Fuertes, Milán y Mecha, 2019).

3. Hacia una estética para la divulgación de la ciencia

En nuestras sociedades tecnificadas y digitales el conocimiento ubicuo e información circulante están en constante crecimiento. Esta realidad nos proporciona un escenario donde el conocimiento no reside en compartimentos estancos, sino que permea a gran parte de la sociedad. Esta coyuntura plantea la necesidad de generar vías de comunicación para transmitir este conocimiento e información a sectores más amplios de la sociedad; de esta forma, se hace imprescindible la búsqueda de estrategias de comunicación que sean efectivas y de mayor alcance. En este sentido, la plasmación de conceptos científicos complejos en un soporte actualizado, como lo es la animación 3D, podría ser un aporte positivo ya que es un medio ampliamente utilizado por la industria del espectáculo y el entretenimiento, lo que lo convierte en un lenguaje familiar.

El uso del modelado y la animación 3D, pueden ser una estrategia que permita hacer más comprensible el conocimiento científico. Poder incorporar la dimensión espacio-temporal mediante la animación 3D, permite un cambio cualitativo importante en los protocolos de generación de imágenes de divulgación y aprendizaje de contenidos científicos (Jenkinson y McGill, 2012;

Iwasa, 2016; Berney y Betrancourt, 2017; Teplá, Teplý y Šmejkal, 2022; McGill, 2022).

El incuestionable dominio de la imagen que abarca todos los espacios en nuestro modo de vida, no deja de lado el ámbito científico. Precisamente esta ubicuidad de la imagen la sitúa de manera inmejorable en una posición privilegiada para lograr, como nunca antes, una eficiente difusión y transferencia global del conocimiento. El atributo de ubicuidad de la imagen electrónica y los beneficios de su uso para la transmisión del conocimiento científico es un aspecto fundamental por su función comunicativa dentro del mundo científico y académico mismo. Dentro de la comunidad científica es esencial esta función para vehicular la divulgación de las nuevas ideas y teorías. Para cualquier investigación científica, la representación gráfica y la divulgación de sus resultados o de los datos que se quieren dar a conocer son de vital importancia. Si hay algo que otorga movilidad al conocimiento científico, es la utilización de las imágenes electrónicas a través de distintos dispositivos y recursos. Su difusión y divulgación son fundamentales para aspirar a tener incidencia en la comunidad científica. Así, la importancia de acompañar las investigaciones con imágenes es primordial, no tan solo para una mejor divulgación de la información sino para poder lograr un mayor convencimiento en la comunidad científica sobre los descubrimientos o afirmaciones defendidas en las investigaciones. Con la imagen digital se multiplican las posibilidades de reproducibilidad y su capacidad de circulación. En la sociedad actual de la economía del conocimiento, la ubicuidad de la información y su movilidad son factores capitales e imprescindibles (Latour, 1990).

El poder de la imagen abarca hoy en día prácticamente todas las esferas de la vida, su impronta se ve reflejada de una forma más manifiesta en el mundo del espectáculo y el entretenimiento, así como en el ámbito de la economía, pero no es menor la relevancia que ha adquirido en lo que respecta a la divulgación científica.

El compromiso por mantener el rigor científico no es óbice para hacer uso de la subjetividad artística necesaria para lograr una calidad de imagen visualmente rica y atractiva, suficiente como para evocar ese deseable asombro, provocando un disfrute estético que se suma al valor didáctico. El deleite visual se suma así a

la mirada escudriñadora y analítica, propia de la ciencia, a la vez que celebra la creatividad y la imaginación.

Los videojuegos se presentan como un paradigma del uso masivo de cuidado estético en el diseño de animaciones 3D. Al analizar videojuegos se constata que prima el atractivo formal de la imagen y su riqueza visual. En estudios sobre el videojuego (Barr, 2017), se señala que una de las características que contribuye a que la recepción del material audiovisual sea exitosa, es que dicho material se produzca de forma profesional con el claro objetivo del entretenimiento y la distracción, con las exigencias que ello supone en el orden estético: riqueza visual, profusión de detalles, o diseño muy elaborado.

4. Creatividad vs rigor científico

Cuando nos embarcamos en una actividad creativa cuyo objeto es la producción de representaciones destinadas a la transferencia y divulgación del conocimiento, es inevitable atender, desde un punto de vista epistémico, a los binomios realidad-ficción o arte y ciencia. Las grandes ventajas que ofrece la imagen para la transmisión de conocimiento hizo que desde muy pronto se estableciera una firme relación entre el arte y la ciencia. El requisito de objetividad y racionalidad que demanda la imagen científica podría haber sido un impedimento en la alianza entre ambos, pero no ha sido así. Por el contrario, podemos encontrar muchos casos donde se fusionaban las figuras de artista y científico en una misma persona; científicos que fueron grandes artistas e ilustradores, tales como Galileo o Ramón y Cajal. El caso más emblemático lo encontramos en Leonardo Davinci, un erudito tanto en las artes como en las ciencias.

En las representaciones científicas lo que prima es el rigor científico y la fidelidad a la realidad. En la animación, como con cualquier otro tipo de representación, se parte ya de la ilusión. La animación se fundamenta en la ilusión óptica; es un efecto visual que, de manera intrínseca, depende de lo ilusorio para aparentar una aproximación a lo real. Por muy realista que sea la representación, no podemos escapar del hecho ilusorio. Debido a los avances en las tecnologías gráficas, cada vez nos aproximamos más a una correspondencia casi exacta de las

representaciones con las apariencias y características estructurales, funcionales, mecánicas y morfológicas de los objetos que se quieren ilustrar.

Es imprescindible el establecimiento de una metodología colaborativa entre el ilustrador y el científico, no tan solo para verificar un teorema o una fórmula, sino para materializar y plasmar visualmente conceptos y procesos científicos que de otra manera tendrían una difícil comprensión. Este tipo de alianzas ha sido una constante en las producciones cinematográficas de Hollywood, donde ya a principios del siglo XXI se constataba que el veinte por ciento de las películas más taquilleras de todos los tiempos han contado con asesores científicos y técnicos (Frank, 2003).

Los creadores con la capacidad de generar animaciones de calidad profesional no suelen tener mucha presencia en el mundo académico. Esto hace que exista una brecha en la relación entre el sector encargado de la producción de animaciones y la comunidad académica que trata de estudiarlas (McGill, 2017). Existe una cierta desconexión entre los productores, desarrolladores y diseñadores de las visualizaciones dinámicas de contenido científico y la comunidad académica encargada de investigar sobre este tipo de visualizaciones. Hay autores (Jenkinson, 2017) que manifiestan que ambas partes se podrían beneficiar de una colaboración recíproca más estrecha, donde los académicos no solo podrían beneficiarse de tener a su disposición animaciones de alta calidad sino colaborar en su diseño para garantizar una producción que esté sustentada por los principios y fundamentos recogidos en sus investigaciones. Por otra parte, los profesionales de la animación podrían beneficiarse al integrar en sus trabajos los planteamientos que aportasen los investigadores académicos.

Para algunos investigadores la prioridad debería centrarse en dirigir los estudios hacia el desarrollo de teorías que sirvan de guía a los diseñadores de animaciones de forma efectiva (Mayer y Moreno, 2002).

5. Gramática audiovisual y su enfoque cognitivo en la realización de producciones de animaciones 3D

Vivimos en una sociedad donde la información y el conocimiento transitan globalmente a gran velocidad y donde los medios y dispositivos que se utilizan

para su intercambio se actualizan constantemente, así como la información que circula por ellos. Quizás una de las formas de promover y fomentar la adquisición de conocimiento científico consistiría en llevar a cabo una actualización de los medios, métodos y materiales con los que comunicamos ese conocimiento.

En los últimos años, la comunidad científica ha manifestado un creciente interés por el uso de las visualizaciones dinámicas, y dentro de estas, de las animaciones 3D. En las últimas décadas se han realizado numerosos estudios con distintos enfoques, aportando una valiosa información sobre el uso de las animaciones, la imagen y los multimedia en la transferencia de conocimiento (Schnotz y Lowe, 2008; Ainsworth, 2008; Lowe y Schnotz, 2014; Botsis, Fairman, Moran y Anagnostou, 2020).

El foco de interés de estos estudios se dirige a aspectos muy variados. La mayoría se centran en las características que poseen las animaciones como medio para comunicar conocimiento, así como en los factores que influyen en la comprensión de los fenómenos dinámicos y la forma en que las animaciones pueden beneficiar la asimilación y aprendizaje de estos procesos.

Debido a que la inclusión de la animación como recurso de difusión de conocimiento es relativamente reciente, algunas de las técnicas propias de este formato, como podría ser la manipulación de la cámara virtual o el uso y cambios de los puntos de vista, resultan aspectos novedosos dentro del ámbito de la producción de material audiovisual de contenido científico. Por otra parte, en el mundo cinematográfico existe una tradición de décadas que acumula experiencia y conocimiento en la producción de material visual dinámico.

Gran parte del éxito del cine se debe a lo que se conoce como el *Hollywood style*. En gran medida, este se caracteriza por su prioridad en atender a aspectos cognitivos y perceptivos (Cutting, 2005). Esta realidad ha promovido un interés por la aplicación de este conocimiento y ha generado muchas investigaciones sobre los aspectos cognitivos y perceptivos presentes en el cine (Smith, Levin y Cutting, 2012; Carroll y Seeley, 2013; Loschky, Larson, Smith y Magliano, 2020).

Gran parte de este conocimiento se ha podido extrapolar a la producción de visualizaciones dinámicas fomentando el aumento del uso de técnicas y

estrategias prestadas del cine. De igual manera, tales estudios podrían resultar de gran ayuda a la hora de diseñar animaciones con fines divulgativos.

Al legado artístico y creativo que nos deja la ilustración científica, se suma así toda la rica experiencia gráfica y creativa que ha generado la cultura cinematográfica actual, que constantemente están expandiendo los límites de la calidad y riqueza visual de la imagen en movimiento. Esta se manifiesta a través del cine, la industria del entretenimiento, los medios de comunicación y la propia industria de la animación. Todo este bagaje es una fuente de conocimiento y experiencia sobre la imagen y su poder de comunicación que, sin duda, puede aportar información y experiencia muy positiva a los esfuerzos por descubrir maneras óptimas de transmitir ciencia a través de la imagen.

De hecho, la heurística que se ha ido afianzando durante años se ha visto validada por recientes estudios sobre percepción visual. Son muchas las estrategias que se han usado en el mundo de la ilustración, el diseño y el arte que se han visto ahora confirmadas desde las ciencias cognitivas y de la percepción; como la manipulación de elementos compositivos, o aquellas que tienen que ver con las propiedades visuales, como tamaño, luminosidad, forma o color de los objetos y elementos de la escena visual (Jenkinson, 2017).

Una de las principales ventajas y características que ofrecen las herramientas de animación 3D es la capacidad de presentar las tres dimensiones de forma dinámica. La visión tridimensional, tiene un papel fundamental en los resultados a efectos cognitivos, facilitando y reforzando la comprensión de los sucesos al ofrecer la opción de poder manipular los campos de visión y la manera en que se observa la escena y se presenta la información, así como los elementos presentes en la misma (Sanchez y Wiley, 2017).

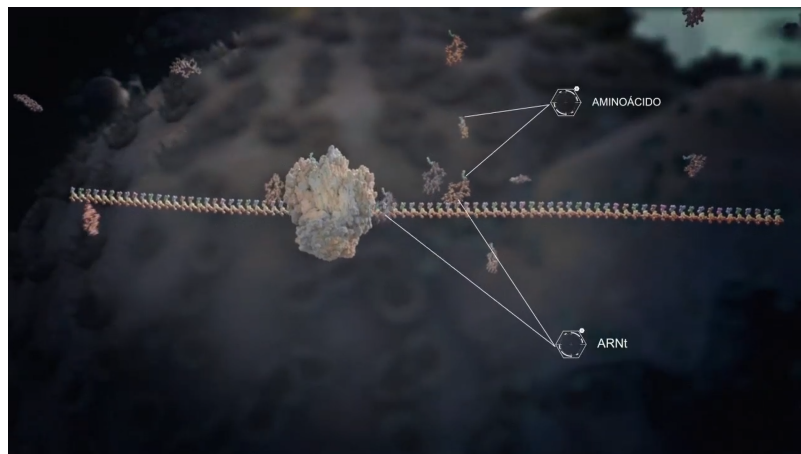
No obstante, pasar de dos dimensiones a tres, añade complejidad a la representación. La tridimensionalidad obliga a la codificación en tres ejes de coordenadas, en lugar de dos, a lo que hay que añadir también la variación del punto de observación (perspectiva). La posibilidad de optar por un cambio dinámico de los puntos de observación sirve a varios propósitos. Se pueden clasificar en aquellos que sirven para mostrar en su totalidad el objeto, esto es, no de forma parcial, los que ayudan a establecer conexiones, los que regulan el foco

de atención o los meramente ornamentales. La elección del tipo de enfoque y puntos de observación tendrá repercusiones, perceptivas y cognitivas (Garsoffky, Schwan y Huff, 2009).

Los movimientos de cámara pueden servir para muchos propósitos como guiar la atención del observador, mostrar información general o global o focalizar partes del objeto de estudio. A este respecto, las técnicas de cámara que se utilizan en el cine o vídeo son aplicables a las animaciones 3D.

A menudo habrá circunstancias que requieran desarrollar una representación mental de un proceso tridimensional complejo, en cuyo caso la aportación de información desde diversos puntos de vista será muy valiosa. La observación desde un punto de vista estático puede ser insuficiente ya que puede haber zonas que queden ocultas o que no se pueda contemplar toda la interacción y relación espacial de todos los elementos. Las representaciones mentales de objetos o escenas quedan asociadas con los puntos de vista desde donde se han observado, de tal forma que no guardamos las representaciones de forma abstracta con un punto de vista individual, sino que los almacenamos asociados a un conjunto de puntos de vista (Diwadkar y McNamara, 1997; Tarr, 1995).

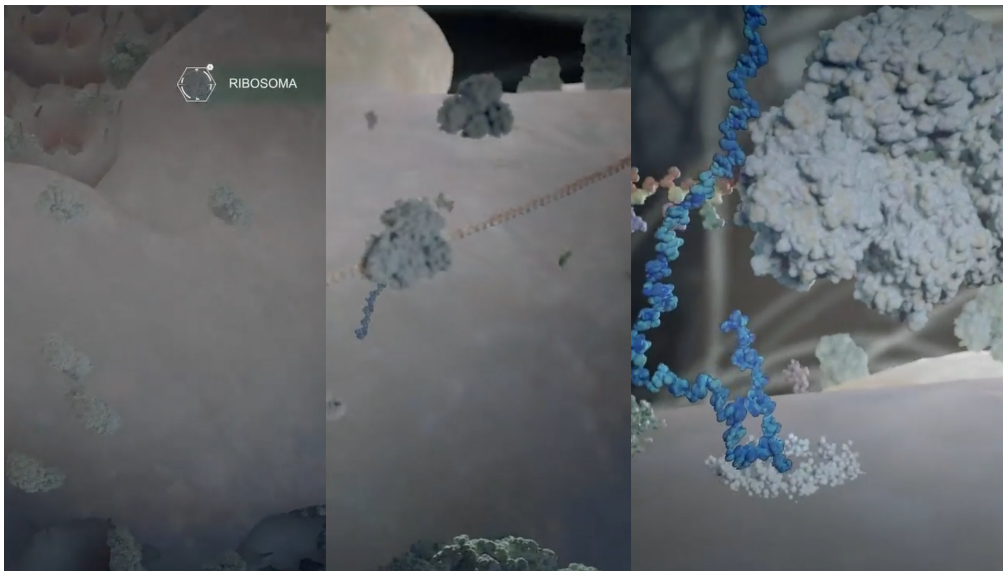
Existen evidencias que muestran las ventajas que ofrecen lo que se denomina como “*canonical views*” o vistas canónicas (Blanz, Vetter, Bühlhoff y Tarr, 1995) y que hacen referencia a puntos de vista que ofrecen mayor información sobre el objeto observado, a la vez que muestran mayor cantidad de su superficie. En una animación, una vista perpendicular al eje principal en el que se desarrolla el movimiento se considera una vista canónica (Garsoffky et al., 2009) (F1).



F1. Fotograma del audiovisual *La célula. Unidad de vida*. Vista perpendicular al eje principal. Traducción del ARNm (autoría propia).

El eje principal del movimiento en una animación está sujeto a cambios y, como consecuencia, se modifica el punto de vista. Una de las particularidades que nos ofrecen las animaciones 3D es la ilimitada capacidad de movimiento que posee la cámara. Contrario al que podría parecer, el seguimiento de objetos en movimiento no perjudica la atención ya que el ojo es atraído por el movimiento a la vez que la mente del observador busca el significado en lo cambiante (Tversky, Heiser, Mackenzie, Lozano y Morrison, 2008).

Una de las funciones de la cámara es ayudar a regular el foco de atención. Normalmente, en una animación habrá varias entidades que se disputarán nuestra preferencia. En este sentido, se han desarrollado muchos recursos que intervienen en la gramática visual y cuyo protagonismo asume la cámara. Entre ellos estaría uno de los más evidentes, el *zoom* (F2). Una forma de dirigir y focalizar la atención, pero también de presentar más detalle e información y evitar otros elementos que pudiesen obstruir la visión. Tanto el cambio de plano como el *zoom* pueden también cumplir una mera función en términos de disfrute, favoreciendo los estímulos visuales dinámicos (Mital, Smith, Hill y Henderson, 2011).

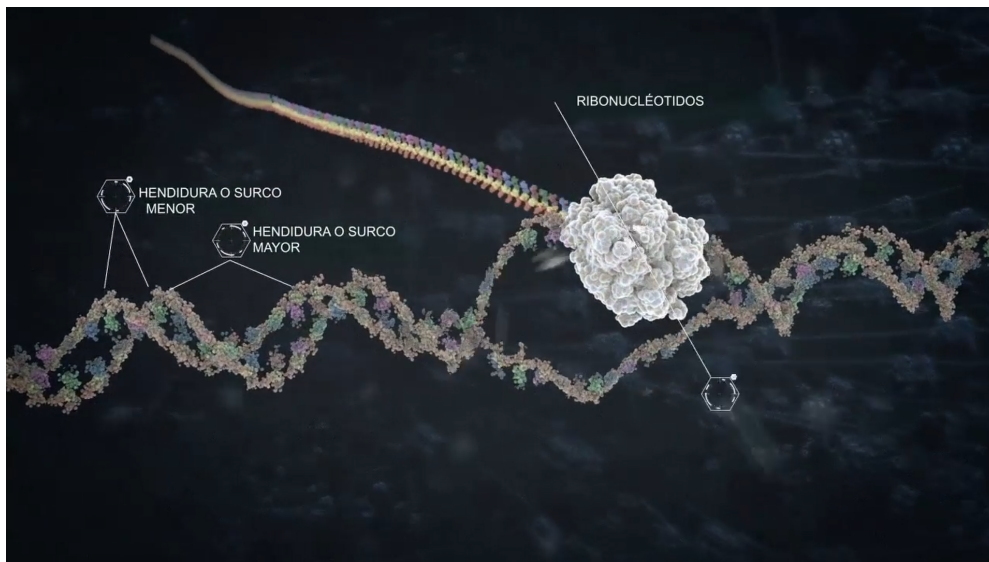


F2. Fragmentos de 3 fotogramas del audiovisual *La célula. Unidad de vida*. Zoom sobre el proceso de síntesis de una proteína de membrana (autoría propia).

Desde el ámbito de la divulgación, el objetivo general que se persigue con la creación de una animación, no es solo enseñar, sino fomentar el interés y los aspectos motivacionales en el espectador. Esto obliga a prestar especial atención

a los aspectos formales y estéticos de las animaciones. El objetivo final es ayudar a la comprensión profunda del material que se trata de comunicar y a la construcción de un modelo mental de alta calidad que consiga efectividad cognitiva. Cuanto más compleja sea la información más compleja será el modelo mental que el observador ha de generar (Lowe y Boucheix, 2017).

En las animaciones se desarrollan sucesos que imitan la estructura y secuencias temporales de su referente. Según el grado de fidelidad, el nivel de complejidad podrá variar, pero se podría acercar considerablemente a la realidad. Esto puede hacer que el nivel de complejidad que adquiera una animación sea análogo al del objeto de estudio que se está representando. Podrán, además, visualizarse tanto relaciones internas sencillas de un solo objeto como de múltiples objetos con sus variadas relaciones, estructuras y sucesos (F3).



F3. Fotograma del audiovisual *La célula. Unidad de vida* donde se puede observar el momento de la transcripción del ADN (autoría propia).

Al poder desplegar en el tiempo las relaciones espaciales, o de otra índole, se podrán mostrar nuevos sucesos secuencialmente donde la dimensión temporal adquiere protagonismo junto con aspectos visoespaciales. Pero, aunque podamos representar de forma fidedigna y verosímil un proceso dinámico, se deben considerar las características y limitaciones cognitivas y el sistema de procesamiento de información del observador, pues serán factores que influyan directamente en nuestra aprehensión de la información.

Otros factores a tener en cuenta son el tipo de información que se pretende transmitir. Por ejemplo, se sabe que hay ciertas representaciones tridimensionales que requieren grandes habilidades espaciales para ser bien entendidas (Huk, 2006; Khooshabeh y Hegarty, 2010).

Las investigaciones más recientes sobre este aspecto han centrado su interés en verificar por medio de estudios comparativos los beneficios que aportan las animaciones a la hora de transmitir conocimiento frente al uso de imágenes estáticas (Ploetzner, Berney y Bétrancourt, 2021). En estas investigaciones, se ha podido constatar que las animaciones son más efectivas en los procesos de aprendizaje cuando los contenidos a aprehender representan cambios dinámicos.

Existe la tendencia a considerar las animaciones como representaciones “superiores” a las imágenes estáticas en cuanto a la capacidad de transmitir información dinámica (Castro-Alonso, Ayres y Paas, 2016). Esto se debe al hecho de que las imágenes estáticas aportan información visoespacial, que es un componente de la función cognitiva que tiene que ver con nuestra habilidad para procesar e interpretar información visual sobre el lugar que ocupan los objetos en el espacio. Sin embargo, la principal objeción ante esta asunción es que las animaciones pueden suponer una mayor carga cognitiva al tener que procesar más información. Hay autores (Lowe y Schnotz, 2008) que restan relevancia a esta diferenciación, argumentando que lo que prevalece es que ambos modelos precisarán, indistintamente, la capacidad de procesar la información.

La mayoría de las veces, la información que queremos adquirir es compleja, y si se nos presentara tal como existe en la realidad, nos sería muy difícil asimilarla. Si, por ejemplo, abordamos el estudio del interior de la célula, que es un espacio denso y tupido que no permite ser representado tal como es en su estado natural, se requiere una selección de la cantidad de información que se desee mostrar (F4). Dentro de la teoría cognitiva del cine se estudia la importancia de la manera en que se presentan los eventos de una narración para facilitar su comprensión y cómo afecta en los procesos cognitivos; es “el arte de simplificar” (Shwan, 2013).

Debido a la amplia cantidad de información que se debe comunicar y su nivel de complejidad, se corre el riesgo de que la animación se vuelva tediosa. Para evitarlo, se realiza la animación como un viaje virtual al interior de la célula, un

recurso narrativo clásico en el lenguaje del cine. Se busca aportar dinamismo y una continuidad visual propiciada por la utilización del movimiento de la cámara virtual. En ocasiones recurrimos al plano secuencia, haciendo de forma puntual cortes de cámara en aquellos orgánulos más relevantes, con la idea de poder ofrecer una imagen integral y, a la vez, detallada del inmenso universo celular.



F4. Fotograma del audiovisual *La célula. Unidad de vida*. La densa red de microtúbulos se reduce para facilitar la visualización (autoría propia).

En esta animación se han hecho coincidir algunos procesos secuencialmente con el paso de la cámara según esta se traslada. Esta situación dinámica y de naturaleza transitoria, por momentos, puede que produzca una sensación apremiante e incluso parezca dificultar los procesos cognitivos necesarios para aprehender el proceso. La transitoriedad intrínseca a las animaciones es un tema que preocupa a los psicólogos cognitivos (Berney y Betrancourt, 2016).

Por otra parte, hay autores que no le dan una importancia determinante (Lowe y Schnotz, 2008). Esta disyuntiva entre mantener un ritmo continuo y dinámico en la diégesis de la animación así como evitar una excesiva ralentización debido a las detenciones en un determinado momento en el transcurso de un proceso, ha sido una constante en la realización de esta animación. Para evitar la pérdida de atención, el movimiento de la cámara debe ser dinámico y mantener una cadencia óptima y que, al mismo tiempo, permita registrar la suficiente cantidad de información y variaciones en la escena para así estimular la atención e interés del observador. Simultáneamente, es conveniente evitar sobrecarga cognitiva por una excesiva exposición a información adicional no relevante, lo que los

psicólogos cognitivos llaman “*extraneous processing*” (procesado irrelevante) (Mayer, 2017).

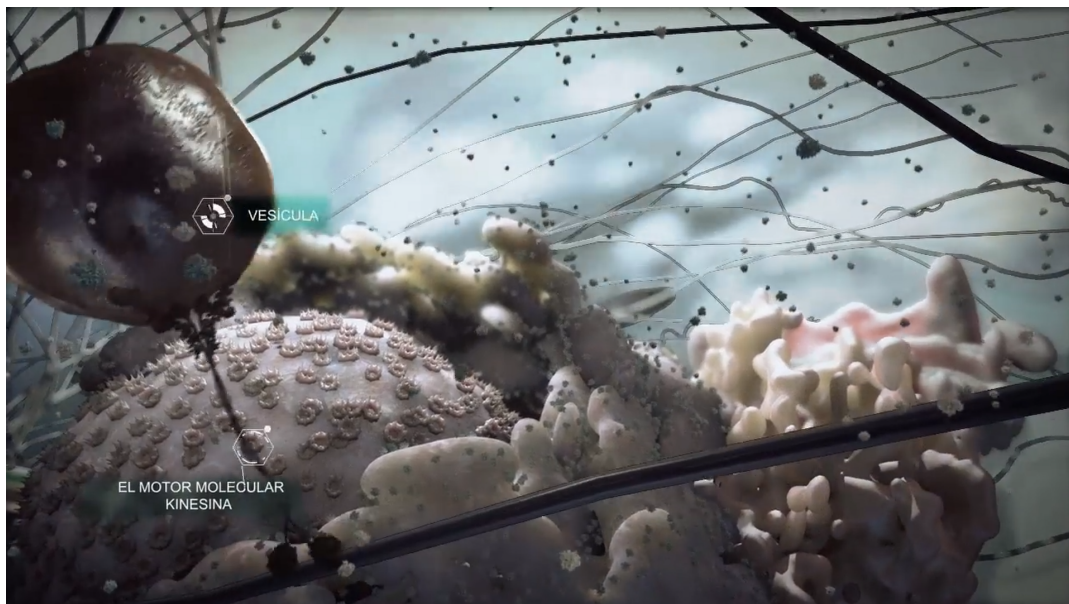
Una animación puede representar la realidad de diferentes maneras con el fin de facilitar su comprensión. Muchas veces requerirá modificar aspectos espaciotemporales de la información para que se produzca una discrepancia con la realidad, lo que podría considerarse como “hacer trucos con el tiempo y el espacio” (Tversky, Heiser, MacKenzie y Morrison, 2008, p. 218). Estas intervenciones buscan proporcionar al observador información que de otra forma sería inaccesible; por ejemplo, ralentizando el proceso o en otros casos acelerándolo, mostrarlo desde diversos puntos de vista al rotar el objeto o el punto desde donde se observa, para ofrecer así más claves espaciales.

Una forma de facilitar los procesos cognitivos en las animaciones es con indicaciones auxiliares (Koning y Jarodzka, 2017; Emhardt, Jarodzka, Brand-Gruwel, Drumm, Niehorster y van Gog, 2022). Otras veces, se podrán añadir elementos gráficos visuales como texto, flechas, estelas, etc. (Hegarty, 2004). En la realización del audiovisual que estudiamos se desplegó un sistema de señalética dinámico con textos para introducir e indicar cada orgánulo por su nombre. Esto permite tener una imagen global del conjunto de las partes constituyentes de la célula. De esta manera, acompañando el movimiento de la cámara se hace uso del sistema de señalética dinámico, señalando y nombrando cada orgánulo y elemento que encontramos en el camino (F5).



F5. Fotograma del audiovisual *La célula. Unidad de vida* con el etiquetado gráfico animado de algunos orgánulos de la célula (autoría propia).

Al representar procesos dinámicos, estos transcurren secuencialmente mientras la cámara avanza y, para registrarlos, deben suceder de manera sincrónica con su movimiento para permanecer dentro del encuadre. De ahí la importancia de coordinar oportunamente cada proceso con los movimientos de la cámara y viceversa. Mientras viajamos por el citoplasma celular debemos coreografiar los movimientos de todos los elementos y “actores” de la escena. Se pretende, con este método, mantener un ritmo continuo y dinámico sin realizar demasiadas interrupciones que pudiesen ir en detrimento del ritmo global. Un ejemplo de esto, es el traveling realizado para describir los procesos de división y fusión mitocondrial que ocurren al momento de entrar en la célula y el pase de una molécula kinesina dentro del encuadre. Ambos procesos transcurren simultáneamente con el paso de la cámara (F6).



F6. Fotograma del audiovisual *La célula. Unidad de vida*. Kinesina entrando en el encuadre de la cámara. Diversos gráficos indican el nombre de algunos elementos presentes en la escena (autoría propia).

Para mostrar el interior del núcleo se recurre a un plano subjetivo en el que la cámara se introduce por uno de los poros de la membrana celular, logrando una sensación de inmersión (F7).



F7. Fotograma del audiovisual *La célula. Unidad de vida* donde podemos observar, en modo cámara subjetiva, la entrada al núcleo a través de uno de sus poros (autoría propia).

En el interior del núcleo, para contextualizar este proceso, se utiliza como fondo una cortina de cromatinas. Es importante mantener, en la medida de lo posible, el medio donde transcurren los procesos ya que, de esta forma, el observador se ve auxiliado por una contextualización y puede construir mejor el modelo mental del proceso en concordancia con toda la información recibida. La profundidad de campo y el consecuente desenfoque ayudan a dar sensación de profundidad a la escena (F8).



F8. Fotograma del audiovisual *La célula. Unidad de vida* donde se contextualiza la escena con la presencia de las cromatinas como fondo de escenario (autoría propia).

El orden secuencial de los sucesos y la diégesis global son parte importante para aportar coherencia e información relevante que ayude a una mejor comprensión

del proceso y las estructuras causales. Es el uso de una gramática cinematográfica y el desarrollo de una estructura secuencial y temporal la que precisamente da valor a las animaciones y las califica como una herramienta ideal para representar procesos dinámicos que transcurren en el tiempo.

6. Conclusiones

La alfabetización científica es una necesidad de las sociedades modernas. Por este motivo, la divulgación del conocimiento científico debe ir más allá del ámbito académico o círculos científicos y alcanzar al público general. El uso de las tecnologías gráficas avanzadas junto con el empleo de una gramática visual heredada del cine, ayuda a este cometido. En este sentido, se pueden desglosar las siguientes conclusiones:

- 1) A la hora de elaborar material de divulgación científica es importante tener en cuenta la cultura visual de los usuarios a los que se destina. El público en general, y especialmente el más joven, se está formando en un contexto donde predomina la imagen tecnificada de origen digital con un elevado grado de sofisticación.
- 2) Se debe asumir el reto de desarrollar contenidos de divulgación científica capaces de seducir e interesar, de forma similar a la industria del entretenimiento. Para ello es necesario invertir conocimiento, recursos y esfuerzo en mejorar la manera en cómo se presenta el conocimiento científico.
- 3) Los avances en las herramientas gráficas avanzadas proporcionan recursos y medios visuales muy potentes y versátiles que permiten representar ideas de manera eficiente, incluso aquellas de contenidos complejos y técnicos, propios de la ciencia.
- 4) Las producciones destinadas a la divulgación, en su objetivo de comunicar contenido científico, pueden beneficiarse de la gramática visual propia del lenguaje cinematográfico, procurando una forma más efectiva de comunicación.
- 5) Recursos propios de la gramática cinematográfica como las vistas canónicas, el zoom, el trávelin, la cámara subjetiva o cambios de planos, entre muchos otros, son fácilmente desplegables en un medio digital, gracias a la versatilidad, inmediatez y ubicuidad propios de estos medios.

6) El uso de las tecnologías gráficas avanzadas para la elaboración de contenido de divulgación científica lo prepara para su inclusión en otros entornos digitales donde es posible su visualización interactiva, como la realidad virtual (VR) o la realidad aumentada (AR).

7) El uso del modelado y la animación 3D en combinación con elementos de la gramática cinematográfica han demostrado ser eficaces en la elaboración del audiovisual de divulgación científica de este estudio de caso, teniendo gran aceptación tanto en el número de visualizaciones como en los comentarios recibidos.

Referencias bibliográficas

- Ainsworth, S. (2008). How do animations influence learning. En D. H. Robinson y G. Schraw (Eds.), *Current perspectives on cognition, learning, and instruction: Recent innovations in educational technology that facilitate student learning* (pp. 37-67). Information Age Publishing.
- Anderson, J., Barnes, E., y Shackleton, E. (2011). *The art of medicine: over 2,000 years of images and imagination*. University of Chicago Press.
- Bayo, I., Menéndez, O., Fuertes, I., Milán, M., y Mecha, R. (2019). La Comunidad Científica ante las Redes Sociales. *Guía de Actuación para Divulgar Ciencia a través de ellas*. DIVULGA.
- Barr, M. (2017). Video games can develop graduate skills in higher education students: A randomised trial. *Computers & Education*, 113, 86-97.
- Berney, S., y Bétrancourt, M. (2016). Does animation enhance learning? A meta-analysis. *Computers & Education*, 101, 150-167.
- Berney, S., y Bétrancourt, M. (2017). Learning three-dimensional anatomical structures with animation: Effect of orientation references and learners' spatial ability. *Learning from Dynamic Visualization: Innovations in Research and Application*, 279-303.
- Blanz, V., Vetter, T., Bühlhoff, H. H., y Tarr, M. J. (1995, Agosto). What object attributes determine canonical views?. In 18th *European Conference on Visual Perception (ECVP 1995)* (pp. 119-120). Pion Ltd..
- Boon, T. (2008). *Films of fact: a history of science in documentary films and television*. Wallflower Press.
- Botsis, T., Fairman, J. E., Moran, M. B., y Anagnostou, V. (2020). Visual storytelling enhances knowledge dissemination in biomedical science. *Journal of biomedical informatics*, 107(4), 103458.
- Carroll, N., y Seeley, W. P. (2013). *Cognitivism, psychology, and neuroscience: Movies as attentional engines*. Oxford Unity Press.

- Castro-Alonso, J. C., Ayres, P., y Paas, F. (2016). Comparing apples and oranges? A critical look at research on learning from statics versus animations. *Computers & Education*, 102, 234-243.
- Cutting, J. E. (2005). Perceiving scenes in film and in the world. En J. D. Anderson y B. Fisher Anderson (Eds.), *Moving image theory: Ecological considerations* (pp. 9-27). Southern Illinois University Press.
- Davis, L. S., y León, B. (2018). New and old narratives: Changing narratives of science documentary in the digital environment. En B. León y M. Bourk (Eds.), *Communicating Science and Technology through Online Video* (pp. 55-63). Routledge.
- de Koning, B. B., y Jarodzka, H. (2017). Attention guidance strategies for supporting learning from dynamic visualizations. En R. Lowe y R. Ploetzer (Eds.), *Learning from dynamic visualization: Innovations in research and application* (pp. 255-278). Springer.
- Diwadkar, V. A., y McNamara, T. P. (1997). Viewpoint dependence in scene recognition. *Psychological science*, 8(4), 302-307.
- Emhardt, S. N., Jarodzka, H., Brand-Gruwel, S., Drumm, C., Niehorster, D. C., y van Gog, T. (2022). What is my teacher talking about? Effects of displaying the teacher's gaze and mouse cursor cues in video lectures on students' learning. *Journal of Cognitive Psychology*, 34(7), 846-864.
- Frank, S. (2003). Reel reality: Science consultants in Hollywood. *Science as Culture*, 12(4), 427-469.
- Garsoffky, B., Schwan, S., y Huff, M. (2009). Canonical views of dynamic scenes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(1), 17.
- Gouyon, J. B. (2016). Science and film-making. *Public Understanding of Science*, 25(1), 17-30.
- Hegarty, M. (2004). Dynamic visualizations and learning: Getting to the difficult questions. *Learning and Instruction*, 14(3), 343-351.
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of computer assisted learning*, 22(6), 392-404.
- Iwasa, J. H. (2016). The scientist as illustrator. *Trends in immunology*, 37(4), 247-250.
- Jenkinson, J., y McGill, G. (2012). Visualizing protein interactions and dynamics: evolving a visual language for molecular animation. *CBE—Life Sciences Education*, 11(1), 103-110.
- Jenkinson, J. (2017). The role of craft-based knowledge in the design of dynamic visualizations. En R. Lowe y R. Ploetzer (Eds.), *Learning from dynamic visualization: Innovations in research and application* (pp. 93-117). Springer.
- Khooshabeh, P., y Hegarty, M. (2010, March). Representations of shape during mental rotation. In 2010 AAAI Spring symposium series: *Cognitive shape processing*.

- Latour, B. (1990). Technology is society made durable. *The sociological review*, 38(1_suppl), 103-131.
- Lowe, R. K., y Schnotz, W. (2014). Animation principles in multimedia learning. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 2, 513-546.
- Lowe, R., y Ploetzner, R. (2017). *Learning from dynamic visualization*. Springer.
- Lowe, R., y Boucheix, J. M. (2017). A composition approach to design of educational animations. En R. Lowe y R. Ploetzer (Eds.), *Learning from dynamic visualization: Innovations in research and application* (pp. 5-30). Springer.
- Loschky, L. C., Larson, A. M., Smith, T. J., y Magliano, J. P. (2020). The scene perception & event comprehension theory (SPECT) applied to visual narratives. *Topics in cognitive science*, 12(1), 311-351.
- Macedo, B. (2016). *Educación científica*. UNESCO.
<http://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/5025>
- Maddock, D. (2019). Reframing cinematography. *Media Practice and Education*, 20(1), 44-66.
- Malkiewicz, K., y Mullen, M. D. (2009). *Cinematography*. Simon and Schuster.
- Mascelli, J. V. (1965). *The five C's of cinematography* (Vol. 1). Grafic Publications.
- Mayer, R. E., y Moreno, R. (2002). Animation as an aid to multimedia learning. *Educational psychology review*, 14, 87-99.
- Mayer, R. E. (2017). Using multimedia for e-learning. *Journal of computer assisted learning*, 33(5), 403-423.
- McGill, G. G. (2017). Designing instructional science visualizations in the trenches: Where research meets production reality. En R. Lowe y R. Ploetzer (Eds.), *Learning from dynamic visualization: Innovations in research and application* (pp. 119-150). Springer.
- McGill, G. G. (2022). Knowledge synthesis through scientific visualization. *Nature Microbiology*, 7(2), 185-185.
- Mital, P. K., Smith, T. J., Hill, R. L., y Henderson, J. M. (2011). Clustering of gaze during dynamic scene viewing is predicted by motion. *Cognitive computation*, 3, 5-24.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. National Academies Press.
- Ploetzner, R., Berney, S., y Bétrancourt, M. (2021). When learning from animations is more successful than learning from static pictures: learning the specifics of change. *Instructional Science*, 49(4), 497-514.
- Sanchez, C. A., y Wiley, J. (2017). Dynamic visuospatial ability and learning from dynamic visualizations. En R. Lowe y R. Ploetzer (Eds.), *Learning from dynamic visualization: Innovations in research and application* (pp. 155-176). Springer.

- Schwan, S. (2013). The art of simplifying events. En A. P. Shimamura (Ed.), *Psychocinematics: Exploring cognition at the movies* (pp. 214–226). Oxford University Press.
- Schnotz, W., y Lowe, R. K. (2008). A unified view of learning from animated and static graphics. En R. Lowe y W. Schnotz (Eds.), *Learning with animation: Research implications for design* (pp. 304-356). Cambridge.
- Smith, T. J., Levin, D., y Cutting, J. E. (2012). A window on reality: Perceiving edited moving images. *Current Directions in Psychological Science*, 21(2), 107-113.
- Tarr, M. J. (1995). Rotating objects to recognize them: A case study on the role of viewpoint dependency in the recognition of three-dimensional objects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2, 55-82.
- Teplá, M., Teplý, P., y Šmejkal, P. (2022). Influence of 3D models and animations on students in natural subjects. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 65.
- Tversky, B., Heiser, J., Mackenzie, R., Lozano, S., y Morrison, J. (2008). +Enriching animations. En R. Lowe y W. Schnotz (Eds.), *Learning with animation: Research implications for design* (pp. 263-285). Cambridge.
- Van Dijck, J. (2006). Picturizing science: The science documentary as multimedia spectacle. *International Journal of Cultural Studies*, 9(1), 5-24.
- Winston, B. (2012). The documentary film as scientific inscription. En M. Renov (Ed.), *Theorizing documentary* (pp. 37-57). Routledge.

Contribución de los autores

Esteban Manuel Amador García: Metodología, visualización

Manuel Drago Díaz: Conceptualización, borrador original.

Jorge de la Torre-Cantero: Revisión y edición.

Los autores han leído y están de acuerdo con la versión publicada del manuscrito y declaran no tener conflicto de intereses.