



**UNIVERSIDAD  
DE GRANADA**

**Facultad de Ciencias de la Educación**

**Departamento de Métodos de Investigación y Diagnóstico en  
Eduación**

## **Tesis Doctoral**

---

# **El cómic como recurso didáctico en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias**

**Doctoranda:**

Emanuela Gemelli

**Director:**

Dr. Clemente Rodríguez-Sabiote

**Programa de Doctorado en Ciencias de la Educación**

**Granada, 2024**

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales  
Autor: Emanuela Gemelli  
ISBN: 978-84-1195-283-5  
URI: <https://hdl.handle.net/10481/91091>

“Si racconta una storia non per spiegare una tesi,  
ma per scoprire di che materia  
sono fatti i personaggi”

"Uno cuenta una historia no para explicar una tesis,  
sino para saber de qué materia  
están hechos los personajes".

## **Agradecimientos**

Quiero dar las gracias a todas las personas que, acompañándome durante estos años de estudiante, han contribuido a que el mi camino hacia el doctorado no sólo haya supuesto para mí un enriquecimiento profesional, sino también un camino de crecimiento integral. Esto ha implicado muchos aspectos de mi vida: desde tratar con idiomas y culturas diferentes a la mía, hasta afrontar situaciones complejas en relación con los viajes durante la pandemia y el alejamiento de mi zona de confort, pero afortunadamente también muchas aventuras.

También me gustaría agradecer sinceramente a la Universidad de Granada que me permitiera hacer de mi pasión por los cómics y la enseñanza de las ciencias el verdadero protagonista de mi tesis doctoral. En particular, quiero dar las gracias a la profesora Eva María Olmedo Moreno, que creyó en este proyecto, al Dr. Álvaro Úbeda, a quien debo agradecer su gran contribución en la redacción y revisión de ambos artículos enviados a las revistas científicas, y, por supuesto, al profesor Clemente Rodríguez Sabiote, que me apoyó en todo lo posible, por un lado dejándome libertad para profundizar en el tema que quería tratar, y por otro dándome todas las herramientas necesarias para hacer un trabajo coherente, científicamente válido y satisfactorio. Al ayudarme con la traducción, con la burocracia y con todos los aspectos relacionados con el inevitable trabajo a distancia debido a la pandemia de los últimos años, representó un punto fijo, una especie de brújula para un navegante que, de otro modo, habría corrido el riesgo de perderse en la tormenta.

Recordaré con mucho gusto mi experiencia aquí en Granada y a mi legendario profesor.

# El cómic como recurso didáctico en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias

## Índice

Índice .....	4
Resumen .....	6
Abstract .....	7
Objetivos de la investigación .....	8
Metodología .....	9
1. Introducción .....	11
1.1. Mi experiencia personal como profesora de ciencias .....	13
1.2. Cómo nace la idea: la génesis .....	14
1.3. Aprender ciencias... ¿todo un reto? .....	16
1.4. Ciencia y cómics, ¿un binomio posible? .....	19
1.5. Ciencias, historietas y nativos digitales .....	22
1.6. Responsabilidad .....	24
1.7. ¿Quiénes son los verdaderos "expertos"? .....	25
1.8. Abordaje de nuestra investigación .....	27
2. Revisión del guión original .....	30
2.1 Pixar in a box .....	31
2.1.1. Los storytellers .....	31
2.1.2. Los Dibujantes .....	34
2.1.3. Los Directores .....	36
2.2. Cómics y literatura científica .....	38
2.2.1. Comics y sociedad .....	38
2.2.2. Cómics y educación científica .....	40
2.2.3. Cómics y comunicación eficaz .....	43
2.3. Discusión .....	45
2.4. En conclusión .....	47
3. Análisis bibliométrico .....	49
3.1.1. Límites y potencialidades del análisis bibliométrico .....	51
3.1.2. Objetivos de investigación del estudio bibliométrico .....	52
3.1.3. Materiales y métodos .....	53

3.1.4. Análisis de datos .....	56
3.1.4. Discusión y conclusiones .....	73
3.1.5. Limitaciones del estudio y perspectivas .....	76
4. Estudio analítico .....	77
4.1. Límites y potencialidades del análisis del contenido.....	77
4.2. Materiales y métodos.....	80
4.2.1. Objetivos del estudio.....	80
4.2.2. Proceso de selección de los artículos objeto de análisis .....	80
Cribado .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Identificación .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Incluidos.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.2.3. Variables consideradas en el estudio .....	84
3.2.4. La hoja de cálculo .....	85
4.2.4. Criterios de inclusión .....	87
4.3. Análisis de datos y resultados .....	88
4.3.1. Para responder al objetivo de investigación nº1.....	88
4.3.2. Para responder al objetivo de investigación nº2.....	92
4.3.3. Para responder al objetivo de investigación nº3.....	94
4.4. Conclusiones y implicaciones del estudio .....	97
4.5. Limitaciones del estudio .....	98
5. Conclusiones finales .....	99
6. Otros proyectos .....	101
7. Referencias bibliográficas.....	110
8. Apendice.....	114
8.2. Cómic: Arquímedes y el misterio della corona .....	134

# Resumen

El objetivo fundamental del siguiente trabajo de tesis doctoral ha sido identificar los límites y el potencial del cómic como instrumento de divulgación científica, especialmente en la enseñanza aprendizaje de las ciencias naturales.

Aunque me encanta dibujar cómics, soy profesora de secundaria y enseño Matemáticas... y Física... y Química... Definitivamente, tenía que hacer algo para no ser odiada por mis alumnos. Por eso, hace unos años, empecé a pensar en combinar mis conocimientos y mi pasión para hacer la Ciencia más amena para mi alumnado. Esto me llevó a leer muchos cómics sobre ciencia, para entender mejor cómo crear uno bueno para ellos.

Pero mientras que algunos de los cómics que leí eran atractivos y convincentes, ¡otros eran terriblemente aburridos! Entonces, ¿qué hace que un cómic científico sea una herramienta útil para que los estudiantes comprendan conceptos difíciles de la ciencia y qué se debe evitar? Nuestra investigación doctoral se centra en responder a esta pregunta, tratando de identificar los límites y los beneficios potenciales del uso del cómic como herramienta de divulgación científica, especialmente en la enseñanza aprendizaje de las Ciencias. El trabajo pasó por dos fases diferentes:

En primer lugar, abordamos el tema prestando especial atención a aquellos aspectos pedagógicos, narrativos y visuales que, según la investigación científica, deberían tenerse en cuenta para hacer un cómic convincente. Después, utilizamos nuestras conclusiones para revisar un viejo cómic mío. ¿El resultado? Un cómic científico ganador de un premio nacional. Sí, "Arquímedes y el misterio de la corona" obtuvo el segundo puesto en la edición de 2020 del Premio Nacional de Divulgación Científica de Italia.

Después, realizamos un análisis bibliométrico y uno narrativo de experimentos de campo reales que analizamos detalladamente. El objetivo ha sido explorar que trabajos se han llevado a cabo a lo largo de esta última década sobre el tópico cómic como medio didáctico de enseñanza-aprendizaje en las ciencias.

Por último, El resultado de nuestra investigación sugiere que los cómics son, efectivamente, una herramienta eficaz para hacer la ciencia más atractiva al público, y que su eficacia puede aumentar mediante la colaboración de expertos en los campos de la enseñanza, la divulgación científica, la comunicación visual y la narración de historias.

Así pues, ¡divertirse aprendiendo ciencia es realmente posible!

# Abstract

The main reason we have been working on the following doctoral thesis has been to identify the limits and potential of comics as a tool for popularising science, especially in teaching of natural sciences.

Even though I really love drawing comics, I'm a junior high school teacher and... I teach Math... And Physics... And Chemistry... I definitely had to do something not to be hated by my students. That's why, a few years ago, I began thinking about combining my knowledge and my passion to make Science more enjoyable for my students. This led me to read a lot of comic books about science, so I could better understand how to create a good one for them. But while some of the comics I read were engaging and compelling, others were terribly boring! So, what makes a science comic a useful tool to engage students in understanding difficult concepts of science and what should be avoided? My doctoral research focuses on answering this question, trying to identify the limits and potential benefits of using comics as a tool for scientific divulgation, especially in teaching Science. The work went through two different phases: Firstly we addressed the topic with particular attention to those pedagogical, narrative and visual aspects that, according to scientific research, should be considered to make a compelling comic. Then, we used our findings to revise an old comic strip of mine. The result? A national award-winning science comic. Yes, "Archimedes and the mystery of the crown" won second place at the 2020 edition of the Italian National Science Divulgation Prize.

Afterwards, we carried out bibliometric and narrative analysis of actual field experiments that we will explain in detail. The aim was to explore what kind of work has been carried out over the last decade on the topic of comics as a didactic medium for teaching and learning in science.

Finally, the result of my research suggest that comics are an effective tool in making science more enticing to the public, and that their effectiveness can be increased through the collaboration of experts in the fields of teaching, scientific divulgation, visual communication and storytelling.

So, having fun learning science really is possible!

## Objetivos de la investigación

Nuestros objetivos fueron obtener una visión completa y profunda sobre el tema del cómic como recurso didáctico en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, integrando datos procedentes desde tres perspectivas diferentes: un análisis bibliométrico, uno de contenido y una revisión razonada del cómic de Arquímedes. En particular:

Para el estudio de corte bibliométrico contemplamos un objetivo principal y dos objetivos específicos:

El principal es determinar qué frentes de investigación se han desarrollado en el esta última década de 2011-2020 sobre el tópico cómic como herramienta didáctica en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias a partir de las bases de datos WoS y SCOPUS.

Por su parte, los objetivos específicos son establecer la estructura conceptual (con el fin de profundizar de qué habla la ciencia indagando en los principales temas y tendencias dentro del frente de investigación cómic como herramienta de enseñanza-aprendizaje en las ciencias) y comparar las estructuras conceptuales conformadas a partir de las bases de datos WoS y SCOPUS.

Para el estudio de contenido contemplamos, a partir de la lectura y análisis de los trabajos utilizados para el estudio cuantitativo bibliométrico, determinar qué metodologías resultan más eficaces y por qué; qué papel juegan el contexto y la edad de los estudiantes; cuáles son los elementos que influyen de manera positiva o negativa en la validez o no de las metodologías de enseñanza que utilizan comics científicos.

Finalmente, para la revisión del guión de Arquímedes el objetivo ha sido identificar las características que un buen cómic científico debe tener para ser apreciado y por lo tanto funcional para el aprendizaje. Con este fin, hemos decidido ampliar la bibliografía al ámbito más general de la difusión científica de cómics.

## Metodología

Nuestra investigación ha avanzado por tres diferentes, pero complementarias, aproximaciones metodológicas. Por una parte, nuestro propósito ha sido implementar un estudio de corte bibliométrico. Su objetivo ha sido explorar que trabajos se han llevado a cabo a lo largo de esta última década sobre el tópico cómic como medio didáctico de enseñanza-aprendizaje en las ciencias. Para este objetivo hemos explorado de forma comparativa las bases de datos WoS y SCOPUS. La bibliometría, en este sentido, utiliza técnicas matemáticas y estadísticas para analizar los modelos de distribución de las publicaciones y para explorar el impacto dentro de las comunidades científicas (Waltman, 2016).

Por otra parte, y de manera adicional a la aproximación bibliométrica, nuestro interés se ha centrado, además, en una segunda parte con un carácter narrativo. Mientras que el estudio bibliométrico tiene como cometido fundamental extraer de los fenómenos investigados sólo los aspectos vinculados a datos objetivamente estructurables, según criterios de medida estándar, en la investigación cualitativa, el análisis de los datos se basa en principios interpretativos que consideran la multidimensionalidad de los objetos de investigación (Semeraro, 2011).

Para el análisis del contenido, inicialmente los textos utilizados para el estudio bibliométrico se han analizado mediante una segmentación analítica del contenido, siguiendo un enfoque inductivo. Eso consiste en identificar en los textos diferentes unidades analíticas (palabras, frases, afirmaciones o apartados enteros) de las que extraer los núcleos de significado: los códigos. Por lo tanto, ha sido necesario encontrar posibles tipos de relación entre los códigos creados, considerando que las fases del proceso de codificación dan lugar a continuas modificaciones: en efecto, la construcción de códigos se redefine varias veces hasta que se descubran los múltiples núcleos de significado que se desprenden de los textos examinados (Thomas, 2006).

Al mismo tiempo, la información procedente de los diferentes tipos de análisis realizados se ha complementado y se ha relacionado con otras investigaciones realizadas en el marco más general de la difusión científica de cómics, y siguiendo la idea de Rossman & Wilson (1985) por la cual los números y las palabras pueden ser utilizados juntos de diferentes maneras para producir un análisis de los fenómenos complejos más rico y profundo que si cada uno de los dos análisis permaneciera independiente de la otra.

Para la revisión del guión de Arquímedes, en cambio, utilizamos un enfoque exclusivamente cualitativo porque la idea era explorar las potencialidades de un cómic científico desde los puntos

de vista educativo, narrativo, pedagógico y gráfico, con el fin de llegar a un producto acabado lo más válido posible.

# 1. Introducción

El valor de la divulgación científica a través del uso de cómics es un tema que hemos abordado durante este período de tres años. Ya en una primera lectura de los textos tomados en consideración, empezamos a madurar algunas ideas. La más interesante de ellas es la imposibilidad objetiva de determinar de manera unívoca la "bondad" de un cómic científico. Esta imposibilidad se debe, según varios autores, pero también en nuestra opinión, a la falta de uniformidad en los trabajos de investigación realizados en el pasado sobre el uso de cómics en la enseñanza de la ciencia.

Por esta razón pensamos en profundizar en el estudio de la literatura científica con el fin de identificar las limitaciones y potencialidades del cómic como instrumento de divulgación científica. En efecto, en la mayoría de los casos de estudio no se ha considerado de forma exhaustiva (y a veces no se ha tenido en cuenta) las características que los cómics tienen, o deberían tener, para que puedan utilizarse con fines didácticos e investigadores. Estas características, según lo aprendido durante este recorrido, deberían cubrir necesidades de tipo educativo, pedagógico, narrativo, y deberían tener un cierto atractivo gráfico. Además, este tema, en la última década, ha sido tratado de manera diferente en los diferentes Países.

Hemos procedido desarrollando contemporáneamente un estudio bibliométrico para fotografiar las tendencias en la última década, y un análisis del contenido. Para el análisis del contenido hemos centrado nuestro interés en revisar las investigaciones hasta ahora realizada sobre la temática (cómic y enseñanza-aprendizaje de la Ciencia) seleccionadas para el estudio bibliométrico con el fin de determinar qué metodologías han resultado más eficaces y por qué; qué papel juegan el contexto, la edad de los estudiantes, y cuáles son los elementos que, según los casos de estudio, afectan a la validez de los cómics científicos.

A medida que avanzaba el trabajo, se intentó elaborar, sobre la base de la bibliografía consultada, y otras lecturas que se referían al tema más general de la difusión científica de cómics, una lista de las características que resultaron adecuadas desde el punto de vista no sólo del contenido, sino también pedagógico, de la gráfica y del storytelling. Tener una imagen completa de estas características puede desempeñar un papel fundamental en la participación de la audiencia. Además el análisis de los estudios considerados, basado en la narración por imágenes, nos llevó a la realización de un producto acabado: un cómic sobre Arquímedes y cómo descubrió el peso específico. En dicho trabajo hemos tratado de hacer evidentes las características que un buen cómic científico debería tener. En este sentido, se han tenido en cuenta en el estado de la cuestión referencias sobre

Enseñanza de Ciencias, sobre la Didáctica de las Ciencias, así como los consejos de algunos de los mejores storytellers, dibujantes de cómics y directores de películas de dibujos animados, entre otros los de Pixar.

Sin embargo, el cómic ha obtenido un reconocimiento llegando a las finales en el evento "Premio Nazionale di Divulgazione Scientifica Gianfranco Dosi", y obteniendo el segundo lugar en la sección "artículos". Se trata de un evento que se celebra anualmente en Italia y que premia los mejores proyectos de divulgación científica.



**FINALISTA**  
VIII edizione  
Sezione Articoli

**Gemmacomics**  
**Archimede e l'enigma**  
**della corona**  
**Emanuela Gemelli**

MAIN PARTNER: Consiglio Nazionale delle Ricerche, BPER Banca  
PARTNER: Airi, Ministero per i beni e le attività culturali e per il turismo, ROMA  
CON IL PATROCINIO: TRECCANI, Unione Chimici Italiani Scientifici, I PARCHI LETTERARI, LUMSA UNIVERSITÀ, LIBRETTINO

Figura 1. Cártel del premio nacional de divulgación científica “Giancarlo Dosi” 2020.

## 1.1. Mi experiencia personal como profesora de ciencias

Soy una profesora de ciencias especializada en divulgación científica, a la que le gusta dibujar y con una debilidad por las citas. Considero los proverbios y las máximas un concentrado de sabiduría que va mucho más allá del significado de las palabras. Del mismo modo, hoy encuentro una extraordinaria fuente de inspiración, para mis clases, en la escuela, en los lemas de los científicos: ¡de "eureka!" a "y aún se mueve"... ¡Cuánto se puede contar de la historia de los grandes personajes del pasado y de sus descubrimientos a partir de sus citas más famosas! Así que como me siento un poco como una caricaturista perdida, voy a aprovechar este trabajo para reunir tres de mis grandes pasiones: la ciencia, las citas y los cómics.

La idea es, básicamente, referirse a un público que he aprendido a conocer con mi experiencia de trabajo en los centros educativos de Secundaria, pero de una forma diferente. Mis hijos son "nativos digitales", personas cuya interacción constante con las tecnologías digitales ha determinado un estilo diferente de procesamiento de la información que las generaciones anteriores. Estos niños, en comparación con la lectura de largos textos, prefieren un carácter gráfico y un lenguaje sintético, posiblemente similar al que utilizan para expresarse.

De la lectura de recientes publicaciones, de las que voy a hablar con detalle, se desprende claramente la necesidad de acercar el público a la ciencia y suscitar un interés en las cuestiones científicas. ¿Cómo? Mi idea al respecto se puede resumir en esto: impulso emocional. Lo mismo que nos hace interesarnos en nuestras pasiones o que nos hace apreciar una película atractiva. En el fondo existe un lado menos riguroso de lo que se piensa, que suscita curiosidad, incluso en las ciencias; ¿por qué no apostar por eso? Me viene a la mente (¡mira!) uno de esos aforismos de Einstein escritos en los posters que lo representan: el dice que aprender es una experiencia, todo lo demás es sólo información. En clase trato de no olvidarlo nunca, por eso me comprometo constantemente a experimentar nuevas formas de comunicación, que luego selecciono en base a la retroalimentación que obtengo.

Mi experiencia como profesora me ha enseñado que es útil y productivo transformar las nociones científicas en contenidos menos áridos y un poco más emocionantes, al alcance de las personas con las que nos relacionamos de manera habitual. La idea que quiero desarrollar ahora es la de "contar" la ciencia a través de las historias de los grandes científicos, aprovechando la emoción que genera el descubrimiento y aprovechando la capacidad que tienen las imágenes (y un cuento) para captar la atención de los niños. Esto recordando sin embargo que "se cuenta una historia no para explicar una tesis, sino para descubrir la materia de la que están hechos los protagonistas..."

## 1.2. Cómo nace la idea: la génesis

Desde hace muchos años trabajo en la escuela y diariamente me enfrento al reto de enseñar temas relacionados con las ciencias a niños de 11-15 años. Es por ello que durante todo he llegado a la conclusión que mientras que materias como la Biología, la Ecología o las Ciencias de la Tierra no crean especiales dificultades en el aprendizaje, por el contrario disciplinas como las Matemáticas, la Física y la Química requieren mucha más concentración, más atención, más energía ... y se perciben como materias "difíciles" y "duras".

Sin embargo, a pesar de la dificultad de aprender estas materias, se sabe que en las últimas décadas la economía de los países emergentes ha dado un gran salto adelante apoyándose en las llamadas STEAM (disciplinas como Science, Technology, Engineering, Arts y Mathematics). A raíz de estos resultados satisfactorios, muchos países están avanzando hacia una mayor participación de la población en los asuntos científicos y están trabajando para crear una cultura científica de calidad a partir del sistema educativo de los niveles de Primaria y Secundaria.

Por otra parte, desde mi experiencia personal me di cuenta de que cuando comienzo a impartir la disciplina de ciencias contando la historia de los grandes personajes del pasado los estudiantes tienen menos dificultad para entender las leyes de la física que se refieren a la fuerza, la flotación, la electricidad, la refracción, la gravitación, la relatividad ... Esto se debe a que, más allá de las interrupciones durante las cuales menciono el principio físico detrás de ese descubrimiento en particular, los estudiantes recuerdan a los personajes, el contexto en el que se movieron, las motivaciones que les llevaron a emprender un determinado camino ... Estas historias los han ido involucrado.

Además de la retroalimentación positiva que tengo de mis antiguos alumnos que ahora asisten a la escuela secundaria y que me informan que tienen buenos resultados en las asignaturas científicas, no tenía datos sobre el tipo de trabajo que había hecho. Pero leía constantemente sobre métodos de enseñanza innovadores basados en el storytelling y la lectura de cómics científicos que han sido implementados en múltiples contextos y que han producido resultados en los que no había evidencias empíricas suficientes como para considerarlos como estrategias de enseñanza-aprendizaje más eficaces que las estrategias tradicionales.

Mi idea fue organizar una investigación sobre todo lo que hoy se refiere a la relación entre la educación científica y los cómics. El estudio se ha desarrollado a través de tres perspectivas

diferentes, que se llevaron a cabo al mismo tiempo y de forma independiente entre sí, para luego compararse. El objetivo era obtener una visión lo más completa posible del tema.

### 1.3. Aprender ciencias... ¿todo un reto?

Como apasionada de la ciencia, una de las preguntas que se me ha hecho la autora del presente trabajo a menudo ha sido: ¿por qué la lectura de una novela es, en principio, una actividad tan agradable que merece un lugar en la playa, bajo nuestra sombrilla, mientras que lo mismo no se puede decir de un libro... de física? Sin la presunción de tener la respuesta, tratamos de adivinar algunas de las razones por las que las ciencias a menudo se perciben como algo difícil o aburrido por un gran número de personas.

¿Acaso la literatura forma parte de los antecedentes culturales de los pueblos desde tiempos inmemoriales, mientras que la ciencia y el interés por la innovación han evolucionado exponencialmente recientemente? En este sentido, parece haber una opinión compartida que los nuevos retos traen consigo dificultades. También en el curso de la vida, de niño a adulto, se afianzan primero las imágenes, luego con las palabras, con el relato, y sólo luego se empieza a razonar, elemento fundamental para comprender las ciencias.

Más allá de nuestras hipótesis creemos conveniente elaborar un estado de arte o de la cuestión para entender por qué la enseñanza-aprendizaje de la ciencia resulta tan dificultosa. A este respecto, según Avraamidou & Osborne (2009) una gran parte de la alienación de la ciencia puede atribuirse a la naturaleza del **lenguaje extremadamente específico** que constituye la ciencia misma. En efecto, incluso en la escuela, la adquisición del lenguaje específico se considera una competencia que hay que conquistar, por lo que se trata de algo que no hay que dar por sentado, posiblemente incluso entre los adultos.

Y además, como sugiere Meyer (1998), en el aprendizaje de las ciencias se encuentran construcciones que no sólo dependen de la naturaleza formal del lenguaje científico, sino **también del contexto del discurso**. ¡Por poner un ejemplo, si digo que la Luna cae constantemente en la Tierra podría ser tomada por loca! Pero si hago esta afirmación dentro de un contexto en el que se ha hablado anteriormente de las dos fuerzas, centrípeta y centrífuga, que se contraponen en los movimientos circulares, probablemente me comprendería perfectamente, quizás incluso con la satisfacción, por parte de quien escucha, por entender un concepto complejo.

Otros estudiosos (Halliday y Martin, 1993) dan una posterior e, igualmente válida explicación: a lo largo de la historia, la gramática de la ciencia ha evolucionado para proporcionar una comunicación eficaz y eficiente **dentro de la comunidad científica y no con fines divulgativos**. Por lo tanto, no es sorprendente que adquirir este lenguaje específico requiera un largo y arduo aprendizaje. Quizás este aspecto es poco conocido, pero en realidad fue sólo en el siglo XVII, con Galileo Galilei,

cuando alguien pensó en contar la ciencia a un público de no expertos. Galileo lo hizo con la publicación de su "Diálogo sobre los dos mejores sistemas del mundo". Se trata de un volumen que, en contraposición a otros, escritos en latín, se ha escrito en vulgar italiano, en forma de diálogo, con preguntas y respuestas, y con una clara intención divulgativa hacia un público de no expertos.

Por desgracia, el viejo concepto de "Torre de marfil" (según el cual existen dos comunidades: una de científicos y expertos dentro de ella y una de legos fuera de ella) sigue siendo actual, sobre todo si se hace referencia al concepto expresado por Gould (1992) de que no sólo la divulgación de expertos se ignora en los círculos profesionales de la ciencia, sino que incluso se considera una forma de contaminación perjudicial para la carrera de los jóvenes investigadores. Una posición tan clara subraya que, a pesar de que hoy se comparte ampliamente la necesidad de hacer divulgación científica, siguen existiendo las huellas de una cultura durante mucho tiempo considerada elitista, de la que algunos irreductibles tienen dificultades para emanciparse.

A la luz de todas estas consideraciones relacionadas con la necesidad de promover el conocimiento científico y las dificultades objetivas de las que se ha hablado ampliamente, me he dedicado a una investigación. Como profesora de ciencias, la autora del presente trabajo, utiliza con éxito dentro de sus clases medios de difusión relacionados con el storytelling. Nuestra investigación actual tiene por objeto aclarar si existen evidencias (que vayan más allá de la experiencia personal) en el hecho de que estrategias como las comentadas puedan acercar sobre todo a las nuevas generaciones a la ciencia y a la tecnología.

Dicho esto, nuestra investigación se referirá a una forma particular de storytelling: el cómic. Es un género literario del que la autora del presente trabajo es una apasionada, que generalmente es bien recibido por los jóvenes, y que, además, de una historia interesante, puede contar con las grandes potencialidades comunicativas de las imágenes. De una interesantísima investigación realizada por Farinella (2018) sobre la utilización de los cómics como instrumento de divulgación científica, se desprende que los cómics tienen un enorme potencial para implicar a diferentes audiencias en las llamadas STEAM (materias de Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas).

Esto juega a favor del viaje por el mundo de la divulgación científica de cómics que en parte ya hemos comenzado, pero que con este trabajo emprendemos con un propósito muy preciso. A este respecto, Schank & Berman (2002) han expresado un concepto aún más interesante y con un potencial casi infinito según el cual las historias son un vehículo a través del cual se puede influir en la comprensión y las creencias de las personas y promover un cambio social y cultural.

Encuentramos esta consideración extremadamente interesante porque quizás precisamente un cambio social y cultural es lo que necesitamos en un momento histórico como el nuestro, en el que "teorías" como la antievolucionista, de los "no vax", de la Tierra plana o similar se hacen eco de la ignorancia general. Si fuera realmente fácil erradicar estas creencias triviales simplemente contando la historia de la ciencia, ¡sería un gran avance! También Dahlstrom (2014) se pronuncia a favor de las potencialidades de la narración en la comunicación, afirmando que puede tener efectos positivos en la divulgación científica, y constituir un verdadero desafío.

## 1.4. Ciencia y cómics, ¿un binomio posible?

La ciencia y la ingeniería afectan a muchos aspectos de nuestras vidas, hasta el punto de que la comprensión de los fenómenos científicos es fundamental para una sociedad democrática. Tal vez también para esto, según Farinella (2018), en los últimos años se ha visto la proliferación en el web de plataformas que asocian la divulgación científica a técnicas de storytelling.

Por supuesto, la asociación de contenidos rigurosos como los que se dan en el ámbito científico con los cuentos, historietas y dibujos animados, puede parecer a priori graciosa, si no acaso demasiado simple. Sin embargo, defendemos en el presente trabajo que es aceptable, aunque sólo sea por falta de hábito en la historia de la ciencia.

Teniendo en cuenta que según Kats (2003) el storytelling tiene una mala reputación en el ámbito científico, tratamos de analizar las razones a la luz de la opinión de los estudiosos sobre dicha temática. Según Dahlstrom (2014) el motivo está relacionado con el hecho de que la información científica es principalmente fruto del razonamiento deductivo mientras la narración sigue mayormente un discurso inductivo. Aristóteles consideraba la deducción como la forma perfecta del razonamiento analítico, porque en ella la conclusión deriva necesariamente de la premisa.

En el razonamiento deductivo la verdad de las premisas garantiza la veracidad de la conclusión. Un ejemplo es el siguiente: «Todos los cuerpos en la Tierra están sujetos a la fuerza de la gravedad; mi globo es un cuerpo en la Tierra; por tanto, mi globo está sujeto a la fuerza de la gravedad». Si las premisas son ciertas, lo son necesariamente también las conclusiones, porque en los razonamientos deductivos la conclusión explícita lo que está contenido, implícitamente, en las premisas.

En el razonamiento inductivo, en cambio, las premisas proporcionan una evidencia más o menos fuerte en apoyo de la conclusión, pero no garantizan necesariamente su verdad. La forma más común de inducción es la generalización, con la que obtenemos información sobre un grupo de cosas, personas, eventos, objetos y así sucesivamente, examinando una porción - o muestra - de ese grupo. Otro tipo de inducción es el razonamiento por analogía, que consiste en sacar conclusiones sobre algo basado en sus similitudes con otra cosa.

Mientras que el razonamiento deductivo es la base de todas las demostraciones y teoremas de las matemáticas, pero no nos permite descubrir o predecir hechos nuevos y por lo tanto ampliar nuestros conocimientos, el razonamiento inductivo, típico de la narración, nos permite realizar un 'salto' de lo conocido a lo desconocido.

También para Klein (2006) existe una gran brecha entre el diálogo narrativo diario y los argumentos científicos. Pero abre una puerta a la posibilidad de usar técnicas de narración también en el ámbito de las ciencias. De hecho, parece que, en su opinión, los mejores y más adecuados medios para implementar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la ciencias son actividades que combinan palabras y escritura. Y por qué no el dibujo, nos preguntamos acaso nosotros en el presente trabajo.

Las aperturas al uso del storytelling en el ámbito científico llegan también de estudios realizados en el ámbito de la educación formal: datos procedentes de diversas investigaciones testimonian como materiales didácticos estimulantes, como lo son también los cómics, son capaces de enseñar conceptos y promover el pensamiento crítico, aumentan el interés por las ciencias a diferentes niveles, independientemente del nivel de profundización (Amaral, Forte, Ramalho-Santos & Cruz, 2015).

Esta es una de las razones por las que sería importante que todos los profesores desarrollaran también este tipo de competencias: ¿cómo se cuenta una historia? ¿qué la hace interesante? Desafortunadamente, no he aprendido la importancia que poseen los cómics como recursos didácticos en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias en mi formación. Fue mi curiosidad y mi pasión por las historias, los dibujos animados y los cómics lo que hizo que mis clases estuvieran llenas de esas historias, anécdotas o dibujos que las hacen atractivas.

En esta misma línea argumentativa Avraamidou & Osborne (2009) también se pronuncian a favor de la utilización de las técnicas de storytelling en la didáctica, alegando que este tipo de competencias permitirían a los profesores combinar elementos del currículum con la narrativa, adaptándolos a los contextos de las clases y a los objetivos didácticos.

Por lo tanto, se puede decir que hay varios estudios que demuestran la eficacia del uso del cómic en la didáctica, especialmente en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Pero al parecer no todo es oro lo que reluce ... Hay algunos aspectos problemáticos de la divulgación científica menos "formal" que deben tenerse en cuenta. Uno, por ejemplo, es el hecho de que, si bien los cómics pueden constituir un medio eficaz de difusión científica, según investigaciones realizadas por Craciun & Bunoiu (2019) el interés en ellos, al menos entre los niños, se pierde a medida que aumentan la edad y el grado de instrucción.

También en esta misma argumentación el ya mencionado Farinella (2018), que ha estudiado varios experimentos de divulgación científica de cómics en las escuelas, argumenta que a pesar de los buenos resultados obtenidos en cada caso, la calidad de los cómics y el tipo de muestra sobre el que se han realizado los estudios resulta demasiado variable para poder extraer conclusiones

generalmente válidas. Otro aspecto que no debe subestimarse es que los resultados de los estudios realizados por otros autores en las clases de estudiantes hasta ahora no son estadísticamente fiables, ya que la mayoría de las investigaciones se refieren a historietas hechas por los mismos profesores que conducen la investigación, en las que nos es posible garantizar la objetividad (Toledo, Yangco & Espinoza, 2014; Kennepohl & Roesky, 2008; Kim, Chung, Jang & Chung 2016).

En conclusión, pasando del contexto escolar al más informal, pasamos a explicitar la opinión de algunos expertos al respecto. Dahlstrom (2014) sostiene que cuando se trata de una audiencia de no expertos, historias, anécdotas y narrativas no sólo se vuelven apropiados, sino también potencialmente muy ventajosos.

Según Brossard, (2013) el entorno digital está cambiando la forma de comunicar la ciencia a los no expertos, tanto para bien, como para mal. Los usuarios de la web tienen hoy el gran poder de elegir, seleccionar y compartir los materiales que más les interesan. Pero a menudo en contraste con la manera tradicional de dar información científicamente eficaz, muchos blogs y redes sociales mezclan hechos y opiniones, dando poco o ningún énfasis a las diferencias entre los dos. El concepto de Brossard no sólo es muy interesante, sino también muy importante en el debate que ha tenido lugar durante al menos una década sobre la libertad de información en el web. ¿Cómo distinguir una información científica de una vanalidad poco rigurosa? No podemos responder a esa pregunta, que en este momento abriría una caja de Pandora en la que no queremos perdernos.

## 1.5. Ciencias, historietas y nativos digitales

Las competencias requeridas a los estudiantes en los últimos años, de acuerdo con el "*The World Economic Forum, 2017, in the Future Work Skills 2020 Report*" son: resolución de problemas, pensamiento crítico, creatividad, capacidad de juicio y la capacidad de tomar decisiones (Davies, Fidler & Gorbis, 2011). Se trata de aspectos que hay que tener en cuenta, sobre todo si se quiere cambiar algo en los métodos tradicionales de enseñanza. En los últimos años, además, el interés de los estudiantes por las ciencias en Europa parece haber disminuido sensiblemente (Craciun, Craciun & Bunoiu, 2016). Según Craciun & Bunoiu (2019), esto se debe a que muchos estudiantes consideran las ciencias abstractas, que no están ancladas en la realidad, especialmente si los profesores utilizan métodos de enseñanza tradicionales (aburridos).

Segun muchos autores-as, entre otros Bennet & Maton (2016) y Timothy (2016), los sostienen que los estudiantes de hoy, en efecto, en relación con las viejas generaciones, utilizan métodos de aprendizaje diferentes. Poseen habilidades digitales que adquieren a través de diversas herramientas, incluyendo los entornos virtuales, ricos en imágenes. Por esta razón, sería necesario adaptarse a los cambios de la sociedad, aceptando el hecho de que la capacidad de transmitir información a través de las imágenes se ha convertido en algo fundamental en el ultimo siglo (Duncan, Smith & Levitz, 2015).

En este contexto, muchos autores han pensado en probar cómics científicos digitales, una forma de arte secuencial y narrativa capaz de transmitir el mensaje científico a través de las imágenes. Según algunos estudios, por ejemplo el de Kivunja (2014), las historias que apasionan a los nativos digitales son las que se pueden compartir en las redes sociales, por lo tanto breves. De hecho, estos niños tienen serias dificultades para enfrentarse a textos largos.

Estudios recientes demuestran que no hay grandes diferencias desde el punto de vista del aprendizaje entre libros de texto y cómics, pero los cómics tienen el potencial de desarrollar interés y diversión en el aprendizaje de las ciencias (Lin, Lin, Lee & Yare, 2016). Trnova, Trna & Vacek (2018) han resumido otras ventajas en el uso de los cómics en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias: motivación, textos concisos, contexto significativo, visualización del problema, identificación y eliminación de las mistificaciones, enfoque multidisciplinar.

Los autores sugieren también que si el cómic no tiene el éxito esperado, sería útil revisar la elección del contenido, acortar el texto y evitar las ambigüedades y las imprecisiones científicas. En particular, segun Scott (2015) los cómics digitales, combinando elementos como narración,

informática y arte visual, representarian medios de aprendizaje válidos desde el punto de vista pedagógico y podrán utilizarse para llamar la atención, facilitar el debate sobre temas científicos o atraer conocimientos adquiridos anteriormente. Por otra parte, de las conclusiones derivadas de algunos estudios de encuesta implementados en centros educativos podemos afirmar que desde el punto de vista del profesorado el uso de comics digitales aporta a la lección creatividad y contenido emocional, y ayuda a humanizar la ciencia, haciéndola más accesible a los estudiantes, independientemente de sus habilidades y su predisposición a las ciencias (Khalid, Meerah & Halim, 2010; Farinella, 2018).

Ya Scott Mc Cloud en 1994, en su best seller "Understanding Comics", sugirió como el conjunto de imágenes y storytelling determina un efecto comunicativo que es mayor que la suma de sus partes... Y, de hecho, numerosos estudios realizados en contextos de educación secundaria y superior confirman que los cómics representan un excelente medio para el aprendizaje en las clases (Hostler & Boomer, 2011; Short, Randolph-Seng & McKenny, 2013; Spiegel, McQuillan, Helpin, Matuk & Diamond, 2013). Un aspecto común a la mayoría de las investigaciones que analizaremos en detalle es el hecho de que, por mucho que los libros de historietas y libros de texto tengan un efecto similar desde el punto de vista de la adquisición de conocimientos, no es así desde el punto de vista de la motivación. También resultó que los cómics tienen una excelente capacidad para captar la atención, especialmente de los lectores ocasionales o aquellos estudiantes con requisitos previos más bajos. Los cómics tienen, por otra parte, varias ventajas, entre las cuales el hecho de que el apego emocional del lector al protagonista facilita el cementificarse de las informaciones vinculadas a él (Farinella, 2018; Symons & Johnson, 1997).

## 1.6. Responsabilidad

A veces, cuando hablo con mis colegas sobre cómo uso mi pasión por los cómics y el storytelling para transmitir información compleja a mis estudiantes, me dicen que no debemos convertir a los profesores en artistas, porque es un deber para los niños estudiar. Estoy totalmente de acuerdo. Sin embargo, considero que es un deber igualmente importante construir una sociedad que tenga un conocimiento científico suficiente para poder tomar decisiones fundadas en el ámbito científico, y esa es la responsabilidad de cualquiera que tenga conocimientos que pueda compartir o transmitir.

Un ejemplo de lo que quiero decir se ha producido recientemente en relación con la pandemia del Coronavirus. ¡La Web y las redes sociales han sido literalmente abrumadas por las opiniones de todos! Expertos, no expertos, políticos, doctores en busca de fama, filósofos, defensores de los animales, "no vax", cantantes y bailarinas... Cada uno se ha sentido en el derecho no sólo de expresar su opinión, sino también de imponerla sobre los demás, poniendo en práctica a veces lógicas que habrían hecho que cualquier experto verdadero se emboscara la piel.

Con esto, no quiero decir que todo el mundo tenga que ser un experto en ciencias para expresarse en la web, pero si todo el mundo tuviera los conocimientos mínimos indispensables para distinguir una noticia que tiene sentido de una que no lo tiene, nuestra sociedad afrontaría problemas como el de la reciente pandemia tomando decisiones adecuadas y en menos tiempo. Si el conocimiento tuviera más influencia en las decisiones que, por ejemplo, en la "corrección política", la raza humana realmente daría un gran paso adelante.

Todo esto para decir que si en primera persona puedo tener un papel en la creación de una sociedad mejor, poco me importa que los niños no estudian del libro de la escuela y aprenden de un cómic o de una historia... Aprendí la mitología griega de un dibujo animado, y me divertí tanto, que después de más de 30 años, ¡recuerdo perfectamente cada una de las historias!

Muchos conceptos, incluso difíciles, también pueden transmitirse de forma divertida, así que, ¡por qué no hacerlo?! Es una cuestión de responsabilidad hacia la sociedad, así como no contaminar o no desperdiciar agua y comida, y poco importa si los niños, para entender el concepto, trabajan o no. Lo importante es también alcanzar el objetivo.

## 1.7. ¿Quiénes son los verdaderos "expertos"?

Segun Mc Cloud, (1994), la forma en que los personajes están diseñados, a través de la elección de características como el sexo y la representación estilizada o realista, puede afectar a la voluntad de los lectores de encajar emocionalmente en la historia. Sutilezas como esta, derivadas de la alfabetización sobre la escritura y el diseño de los cómics, pueden hacer la diferencia y ser utilizadas para crear un producto destinado a segmentos de público específicos.

Scott Mc Cloud está considerado uno de los más grandes maestros del storytelling relacionado específicamente con el cómic. En el momento en que leemos estudios de historietas científicas, lo primero que nos preguntamos es: ¿Quién escribió y dibujó estas historietas? ¿Qué habilidades posee esta persona (o este equipo de personas)? ¿Es un científico?

Por cierto, a este respecto ¿un científico tiene necesariamente la capacidad de transmitir su conocimiento de una manera eficaz, adaptada a la audiencia que tiene delante? ¿Y puede contar una historia? ¿Sabe lo que es un incipit, un clímax, o cuánto tiempo estos momentos de la historia deben durar para que la historia capture y sea cautivadora? ¿Tiene experiencia en lo que una línea dibujada transmite inconscientemente?

No estamos seguros de que en todos los cómics científicos utilizados para la investigación en este campo los autores hayan puesto en campo competencias científicas, pedagógicas y narrativas de igual nivel, y es por eso que nuestro objetivo, en el análisis de los resultados de los estudios realizados hasta ahora, se centra en identificar los factores que han funcionado y los que han funcionado menos. Estas características pueden estar vinculadas a cualquiera de los tres campos que personalmente consideramos fundamentales para el éxito de un buen cómic científico: conocimiento del tema, competencias divulgativas y pedagógicas y, por último, competencias narrativas.

Aparte de Mc Cloud muchos académicos se han expresado acerca de las ventajas que se pueden obtener a nivel educativo de una buena narrativa. Por ejemplo, según varios autores la narración, además de tener que seguir los cánones del storytelling, debe realizarse de modo que no haga demasiado evidente la intención educativa, que para el lector se transformaría en la impresión de querer ser manipulado (Moyer-Guse & Nabi, 2010). Mientras la intención persuasiva permanezca oculta, el lector acepta la exposición del argumento, siempre que esté narrada; un eventual rechazo puede llegar en un momento posterior si el lector se da cuenta de la verdadera intención (Green, 2006; Gerrig, 1993).

Otro elemento sobre el que vale la pena hablar es el potencial que ofrece la personificación de objetos inanimados o pequeñas partículas como las moléculas químicas o los virus, por ejemplo. Por supuesto, temas como el relacionado con la salud o la biología se prestan a la personificación de los elementos con respecto a otros tipos de ciencia, más "fría" y abstracta (Dahlstrom, 2014).

Por último, un aspecto interesante que debe tenerse en cuenta tanto en la narración como en las evaluaciones de la narración es el hecho de que cuando se propone una ley general, acompañada de ejemplos, la percepción del lector se ve más influida por los ejemplos que por la regla general, tanto que se inclina por el concepto aclarado por los ejemplos cuando el concepto general y los ejemplos no están perfectamente alineados (Gibson & Zillmann 1994).

Todas estas argumentaciones nos han llevado a tratar incorporar, en el capítulo sobre la revisión del guion original, los consejos y sugerencias de algunos expertos del cómic con el objetivo de conocer qué características debería tener un cómic científico bien hecho. Si los cómics utilizados para realizar los experimentos tuvieran características comunes y se propusieran a una muestra de estudiantes no demasiado heterogénea en cuanto a la edad, se podría intentar realizar investigaciones comparables. Si las características comunes fueran entonces válidas desde los puntos de vista educativo, científico y del storytelling, entonces podrían surgir algunos resultados interesantes. Precisamente para profundizar en estos aspectos, vamos a proceder a un análisis detallado del contenido de la literatura científica, comparando sucesivamente los resultados con la experiencia de los expertos en la comunicación a través de las imágenes.

## 1.8. Abordaje de nuestra investigación

La investigación en ciencias sociales pueden implementarse entorno a tres paradigmas diferentes que, en realidad pueden incardinarse en dos: uno cuantitativo (positivista) y otro cualitativo (conformado por una aproximación interpretativa y otra sociocrítica). El paradigma positivista es aquel en el que los hechos sociales tienen una realidad objetiva, por lo que las variables que los afectan pueden ser identificadas y medidas (análisis cuantitativo). El paradigma cualitativo, por el contrario es aquel, según el cual los hechos sociales dependen estrechamente del contexto y las variables que los influyen, creando relaciones que son complejas, interrelacionadas y difíciles de medir (análisis cualitativo).

La investigación cuantitativa y cualitativa son dos aproximaciones complementarias que pueden asociarse para obtener resultados que sean a la vez amplios y profundos. En términos sencillos, los datos cuantitativos proporcionan las cifras que demuestran los aspectos generales y globales de la investigación, mientras que los datos cualitativos proporcionan los detalles y las profundizaciones necesarias para comprender plenamente sus implicaciones. Para que estos dos métodos produzcan los mejores resultados en las investigaciones, es importante comprender las diferencias que los distinguen.

Los datos cuantitativos sirven para recoger los hechos, las cifras. Se trata fundamentalmente de datos estadísticos y estructurados, que sirven de base para extraer conclusiones de carácter general de las investigaciones realizadas. Los datos cuantitativos ayudan cuando la investigación pretende obtener una visión general sobre un tema. La investigación cualitativa es útil, por ejemplo, cuando los autores describen los puntos fuertes o débiles de la encuesta realizada por cada uno de ellos.

En la investigación cuantitativa se clasifican las características de la realidad, se cuentan las recurrencias, y se construyen modelos estadísticos para explicar de manera lo más objetiva posible las observaciones hechas. Los resultados pueden generalizarse a poblaciones más amplias de la muestra. Por otra parte, en la investigación cualitativa, la descripción de los datos que se presentan es menos rica que la del análisis cualitativo. Debido a la clasificación, el análisis es, en algunos casos, una idealización de los datos más frecuentes, mientras que los fenómenos raros tienden a ser poco considerados o a desaparecer por completo.

Debido a la necesidad de coherencia estadística, en un análisis cuantitativo deben existir frecuencias mínimas para los datos que puedan tenerse en cuenta. Esto implica que a veces las categorías deben

ser unificadas lo que conduce a una pérdida de riqueza en los datos. Los datos cuantitativos, en definitiva, son eficaces para probar hipótesis, pero pueden faltar detalles de tipo contextual.

Los datos cualitativos recogen la información que intenta describir un tema más que medirlo: son impresiones, opiniones y puntos de vista. Una investigación cualitativa está menos estructurada y tiene por objeto profundizar en el tema en cuestión para recabar información sobre las motivaciones, el pensamiento y las actitudes de las personas. Todo esto, por una parte, proporciona una comprensión profunda de las preguntas de la investigación, pero, por otra, hace más difícil analizar los resultados.

Se opta por realizar un estudio cualitativo cuando se desea iniciar una investigación que ponga de manifiesto los problemas o las oportunidades en un determinado ámbito de trabajo. Las ideas que se desprenden de este tipo de encuesta pueden convertirse en hipótesis que pueden demostrarse mediante una investigación cuantitativa. El objetivo principal de la investigación cualitativa es describir uno o más procesos en un contexto específico. El objetivo del análisis cualitativo es una descripción completa y detallada, cuyos datos requieren más tiempo para ser adquiridos y son menos generalizables (lógica idiográfica).

Dicho esto, es fácil comprender que los dos métodos de búsqueda son complementarios entre sí y funcionan mucho mejor si se asocian y generan datos integrados, en lugar de si se realizan por separado. En un mundo de grandes datos, las cifras y las estadísticas constituyen una base sólida para nuestras decisiones, pero esta base es incompleta sin la información recogida por las observaciones en el contexto investigado. Pensemos en el nacimiento de una tendencia... Sería imposible investigarla con referencia exclusivamente a una investigación de tipo cuantitativo, ya que ésta no tendría en cuenta los números pequeños.

Es precisamente en esta óptica que trabajaremos, procediendo simultáneamente en dos frentes: a través de un análisis bíblicométrico, por un lado, y un análisis de contenido por el otro. Por último, trataremos de integrar los datos procedentes de las dos investigaciones con el fin de tener una visión lo más completa posible acerca del proceso de enseñanza - aprendizaje de la ciencia a través de los cómics. Esta preocupación por integrar los datos lo máximo posible, reside en que desde una perspectiva multimétodo como la adoptada no queremos caer en la mera complementariedad metodológica (Rodríguez-Sabiote, 2019).

Sin menoscabo de lo anteriormente dicho, no debemos olvidar justificar por qué razón no se ha abordado el estudio desde punto de vista experimental. A este respecto, y cómo bien se muestra en

el título del trabajo, hubiese sido conveniente abordar la potencialidad del uso del cómic en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la ciencia en estudiantes de secundaria. No obstante, el inicio e insistencia de la pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2 y la enfermedad asociada al mismo (la COVID-19) han hecho del todo imposible el desarrollo de un diseño experimental (más concretamente cuasiexperimental por tomar como objeto de estudio grupos clase no aleatorizados) a través del cual determinar la potencial eficacia de un método de enseñanza-aprendizaje basado en el cómic *vs* método tradicional.

## 2. Revisión del guión original

Lo que, prepotentemente, sale de una primera análisis sobre el uso del cómic como medio de difusión científica es que, para que sea eficaz, el cómic debe implicar. Y es por esta razón que, en un relato (y el cómic es un relato), no se puede prescindir de un conocimiento profundo del lenguaje característico del medio con el cual nos expresamos. A este respecto, quiero mencionar un pensamiento de Scott Mc Cloud, (1994), según el cual la forma en que los personajes están diseñados, a través de la elección de características como el sexo y la representación estilizada o realista, puede afectar a la voluntad de los lectores de encajar emocionalmente en la historia. Sutilezas como esta, derivadas de la alfabetización sobre la escritura y el diseño de los cómics, pueden hacer la diferencia y ser utilizadas para crear un producto destinado a segmentos de público específicos. También hemos destacado anteriormente cómo muchos académicos se han expresado acerca de las ventajas que se pueden obtener a nivel educativo de una buena narrativa.

Pasear por la web en busca de ideas interesantes es algo que hago con gusto, a menudo con buenos resultados. Aunque en muchos casos la investigación en estos contextos no se lleva a cabo a nivel universitario como en los trabajos que hemos analizado en los capítulos anteriores, la variabilidad de los estilos comunicativos, de los planteamientos y de las competencias puestas en práctica añade a nuestra investigación aquellos componentes que a menudo faltan en el tratamiento del tema en contextos estrictamente académicos.

## 2.1 Pixar in a box

De una colaboración entre Pixar y Khan Academy nace "Pixar In a box", un proyecto a través del cual los guionistas Pixar desvelan los trucos que hacen una historia muy interesante. Para nosotros es importante entender cuáles son las características de una buena historia para involucrar al público, ¡porque involucrar emocionalmente a quienes leen nuestros cómics es exactamente lo que queremos! Por eso, a continuación, destacamos algunos de los consejos que nos parecieron más interesantes.

Las videoconferencias completas están disponibles en el enlace: <https://www.khanacademy.org/partner-content/pixar/storytelling>

### 2.1.1. Los storytellers

#### ¿Qué significa contar una historia?

Para los guionistas de Pixar, el poder de una historia depende de la capacidad de conectar el reproductor a un nivel emocional. La historia también puede hablar de monstruos o explosiones, es cierto, pero lo que la hace "vivir" es el conjunto de las emociones que transmite. Y para que estas sensaciones puedan ser transmitidas, primero deben ser "oídas" por el que cuenta la historia. Deben ser parte de su vida y recuerdos perfectamente vívidos. Monsters & Co, por ejemplo, no habla de un monstruo que asusta a los niños, sino de un hombre que se convierte en papá... Esta es la historia de uno de sus guionistas. Sólo si se habla de lo que nos pertenece se puede saber cómo nos sentimos en un momento particular, y esta es la clave para transmitir al lector la sensación correcta. Tienes que aprovechar tu experiencia y luego jugar con ella.

#### El "si... entonces..."

La del si... entonces... es una práctica que estimula la imaginación. ¿Qué sucedería si, por ejemplo, los juguetes de repente se animan? Es la pregunta de la que nació el primer éxito de Pixar, Toy Story. El de "si... entonces..." representa un ejercicio, a la Pixar, a través del cual se pide a los guionistas que expresen el contenido de una historia de la manera más concisa posible.

#### Ambiente o protagonista?

Igualmente importantes son tanto el mundo en el que nos movemos, es decir, el ambiente, como el protagonista. Una buena historia nace del encuentro de los dos. Consejos: una historia nunca será buena en el primer intento. En un dibujo, las piezas de lápiz sin tinta permanecen allí como testimonio del trabajo de investigación realizado. Del mismo modo, incluso una idea de historia nace imperfecta. Cada nueva versión

de la historia, aunque fracasada, es un paso que lleva cada vez más cerca de la idea final. Por lo tanto, no hay que tener miedo a equivocarse, sólo pensar que se están haciendo progresos.

### **El protagonista**

Cuando se trabaja en la caracterización de un personaje, un truco que puede ayudar es imaginarlo atrapado en un ascensor. ¿Cómo reaccionaría? ¿Se desespera o muestra sangre fría? ¿Cómo actúa cuando está en dificultad? Es importante responder a estas preguntas porque esas mismas sensaciones que el protagonista siente son las mismas que el guionista va a compartir con la audiencia.

### **Características interiores y externas**

Ambas contribuyen al proceso de desarrollo de un personaje. Un personaje se puede considerar creíble cuando tiene un objetivo que perseguir, mejor si este objetivo tiene algo que ver con su crecimiento, su desarrollo personal, su independencia. Las características externas están representadas por el diseño, la forma física o la ropa, mientras que las interiores tienen que ver con su temperamento o con los valores en los que cree. Si hay contrastes muy claros entre las características externas e internas, el personaje adquiere aún más carácter.

### **Objetivos o necesidades?**

Para caracterizar a un personaje es importante entender lo que quiere y lo que necesita. Lo que quiere es fundamental. Una vez entendido esto, el personaje para toda la historia y en todo momento se moverá siempre en esta dirección, tratando de asegurarse de que su objetivo se alcanza. Lo que quiere es el objetivo manifiesto mientras que el "lo que necesita" a veces algo que no se quiere confesar o que no está claro ni siquiera para el mismo protagonista. In *Inside out*, Joy quiere que la niña sólo experimenta la alegría, pero poco a poco se da cuenta de que lo que la niña realmente necesita es la tristeza. Si hay conflicto entre deseos y necesidades, el personaje es aún más fuerte.

### **Obstáculos**

¿Qué es eso que invita a los personajes a actuar? El deseo de alcanzar un objetivo, pero la sal que hace la historia interesante está representado por los obstáculos. Si se quiere realmente que la audiencia se identifique con el protagonista, hay que hacer el objetivo difícil de alcanzar. El obstáculo también debe ser consistente con lo que el personaje quiere y lo que necesita. Así el personaje se transforma desde el principio de la historia hasta el final. Si el personaje alcanzara su objetivo demasiado simple, no parecería auténtico.

### **Lo que está en juego**

Lo que está en juego es lo que nos hace preguntarnos: ¿qué riesgo corre el protagonista si no alcanza el objetivo? En *Jurassic Park*, por ejemplo, lo que está en juego es la vida de los personajes. Un cambio

repentino en el medio ambiente, como en el Parque Jurásico, puede dar lugar a una apuesta relacionada con la vida o la muerte. Una cuestión emocional, como un problema personal a resolver puede comprometer la autoestima del protagonista: la autoestima en este caso es lo que está en juego. Una apuesta de tipo diferente está relacionada, por ejemplo, con valores que afectan a la salvación del mundo, un ejemplo típico es la lucha entre el bien y el mal evidente en la historia del Señor de los anillos.

### **La estructura**

La estructura de la historia se caracteriza por un incipit, un cuerpo, y un desinit. Tiene que ver con lo que quieres que la audiencia sepa y cuándo. Un cambio en la estructura puede llevar a un cambio en la percepción del protagonista.

### **La espina dorsal**

El orden en que suceden las cosas representa la estructura. Los diálogos forman parte de la estructura. Una lista de lo que hay que decir y el orden en que se quiere decir es una estructura. Para contar una historia comienza con las cosas más importantes con el fin de aclarar los pasos principales. El resto se inserta más tarde. Una espina dorsal típica es: Había una vez... Cada día... Hasta que un día... / Por esta razón... Por esta razón... Por esta razón... / Hasta que finalmente... Desde ese día... (y aquí puede caber la moraleja de la fábula).

### **El tema**

¿Cuál es el hilo conductor de la historia? ¿Qué conecta todos los acontecimientos de la historia de una manera orgánica? A menudo es algo filosófico relacionado con la esfera emocional del protagonista y su crecimiento personal. El hilo conductor tiene mucho que ver con lo que el protagonista necesita, menos con lo que quiere. El tema debe ser claro, si no al principio de la historia, al final, y está estrechamente ligado a la moral.

### **El primer acto**

Es el llamado incipit: Había una vez... Un día... Hasta que un día... Nos da indicaciones sobre el tipo de historia que se nos cuenta: una aventura, una historia romántica o del horror. En esta fase aparece el antagonista: algo o alguien con quien el protagonista debe confrontarse. En esta primera fase ocurre algo que modifica el status quo del protagonista que lo llevará a actuar en el segundo acto. Es importante en esta etapa establecer la conexión emocional con la audiencia que de lo contrario no querrá seguir adelante y ver qué pasa después.

## **El segundo acto**

El segundo acto es el llamado cuerpo del texto: Por esta razón... Por esta razón... Por esta razón... Con el segundo acto llega el momento en que el protagonista empieza a moverse en la dirección de su objetivo. Los obstáculos le obligan a tomar decisiones. Es interesante cómo cuanto más obstáculos hacen difícil el viaje hacia el objetivo, más historia se vuelve interesante. Por lo tanto, se llegará a una fase llamada "Low Point" que corresponde al momento en que todo parece perdido y las cosas peor no podrían ir. El punto bajo coincide con el final del segundo acto.

## **El tercer acto**

Al llegar al punto bajo se alcanza el clímax de la historia, el momento de mayor tensión emocional. El protagonista, ¿está dispuesto a alcanzar el objetivo a pesar de las dificultades? O mejor dicho, el protagonista está dispuesto a abrazar lo que necesita, incluso a costa de lo que quiere, ¿"gracias" a los obstáculos que ha tenido que superar? Después del clímax se vuelve a un estado de paz pero el protagonista ha cambiado, se ha convertido en una versión mejor de sí mismo. En el segundo acto el personaje a menudo aprende lo que es importante. En el tercero lucha por ese algo. El tercer acto va acompañado a menudo de un sentido de resolución que satisface también la audiencia, que ha afrontado, junto con el protagonista, los obstáculos a lo largo del camino.

### **2.1.2. Los Dibujantes**

#### **El lenguaje visual**

Se dice que una imagen vale 100 palabras... Veamos por qué. Si un personaje ocupa mucho espacio dentro de una caricatura, es probable que sea un personaje importante, al menos en ese momento en particular. Si parece pequeño, en un rincón, dentro de un espacio muy grande, probablemente lo que desea comunicar es su vulnerabilidad. Las líneas ligeramente desequilibradas comunican tensión. Las formas también se comunican: las formas triangulares hacen pensar en algo intimidante y a menudo están asociadas con los personajes malos. Las sombras redondas, en cambio, nos hacen pensar en algo amistoso. El color también tiene su importancia, sobre todo al guiar el ojo. Las posiciones mutuas de los personajes también son indicativas: cuanto más alto es un personaje, mayor es su poder. A un personaje pequeño de estatura se le puede dar importancia poniéndolo en primer plano y haciéndolo parecer más grande ... Hay muchos trucos que se pueden usar para comunicarse con las imágenes, y ahora vamos a analizar algunos.

## **La línea**

La composición es la organización, en el espacio, de los elementos que caracterizan una imagen. Comienza con una línea. Una línea nerviosa será temblorosa; una línea enojada será recta y gruesa, tal vez repetida varias veces. Si quiero crear una sensación de calma, usaré una línea horizontal pero no recta, suave. Los mismos principios se aplican cuando dibujas personajes o una situación. Pelo rizado e indomable como los de Merida en "Brave" son indicativos de su carácter. La forma de un personaje a menudo comunica algo de su esencia.

## **La forma**

Partimos de las formas primitivas... los triángulos comunican acción, velocidad o tensión. Los círculos parecen amistosos, mientras que los cuadrados fiables y estables. Los personajes están a menudo constituidos por la asociación de varias formas, de las cuales la preponderante de carácter al personaje. Las demás formas describen sus características secundarias. El padre de "Los Increíbles" es un muy estable cuadrado con asociados de triángulos que le dan dinamismo. El sombrío crítico de "Ratatouille" tiene prácticamente la forma de un sarcófago. La forma se refleja también en la línea de contorno que caracteriza a los personajes: un carácter anguloso tendrá un contorno anguloso, uno amistoso tendrá contornos suaves. Rayo McQueen en "Cars" tiene una línea suave pero dinámica; su antagonista, rápido, una línea siempre dinámica pero más angulosa. Sus amigos, lentos y fiables, tienen la forma de rectángulos.

## **El espacio**

Hay algunos trucos para crear, en una imagen, la ilusión de la distancia: se pueden utilizar las líneas prospectivas, o el principio por el cual cuanto más lejos esté un objeto, tanto más tenue su línea de contorno. Todo esto se puede combinar con el hecho de que los objetos grandes parecen más cercanos que los objetos pequeños de la misma forma. El espacio dentro del cual se mueve un personaje comunica algo también a nivel emocional: una persona robusta en un pequeño espacio de trabajo aparecerá comprimida, menos cómoda que una persona más pequeña que trabaja en el mismo espacio. Parece que está preso.

## **El movimiento**

¿Cómo crear la ilusión del movimiento en una imagen? Esencialmente a través de dos herramientas: las líneas de movimiento las líneas de acción. Las líneas de movimiento son aquellas que acompañan, por ejemplo, a un balón de fútbol que se patea. Las líneas de acción son las líneas imaginarias que sintetizan la posición de los personajes. Una curva en forma de G para un personaje sentado, una S para uno colgando, una I para uno apretado. Estos se utilizan en la fase de dibujo para poner énfasis en el movimiento de los personajes. Expresan fuerza. Las líneas de acción diagonales son más dinámicas que las líneas de acción verticales. Piensa en dos personas de pie, una recta y una con las piernas abiertas y las manos en las caderas. ¿Cuál parece más dinámica?

## **El tono**

Luz y sombra, además de guiar el ojo del observador, comunican algo sobre la atmósfera: alegre y Serena por la luz, oscura y misteriosa por la oscuridad. También el contraste dice mucho en el nivel emocional: colores muy claros que se acercan a colores muy oscuros comunican emoción, drama, conflicto. El punto de mayor contraste es también el que conduce al observador. De la misma manera si quieres enfatizar un momento de tristeza en un personaje, puedes colorearlo dándole un ligero matiz hacia abajo hacia un tono un poco más oscuro, pero teniendo cuidado de no crear contraste. Matices ligeros hacia un tono más oscuro siguen la idea de la niebla, creando un ambiente triste y tranquilo.

### **2.1.3. Los Directores**

#### **Las tomas**

Las imágenes también comunican algo: una central aporta un sentido de estabilidad y neutralidad. Composiciones interesantes y bastante naturales son determinadas por la llamada regla de terceros. Se divide la etiqueta en tres partes, tanto horizontal como verticalmente, y se colocan los objetos más interesantes en las cuatro esquinas rectangulares centrales.

Las tomas extremas son aquellas en las que se quiere enfatizar una sensación. Al acercarse mucho a la cara de un personaje, por ejemplo, se transmite una sensación de malestar o inquietud. Un encuadre desde un ángulo muy bajo confiere al personaje una posición de poder o dominio. Por el contrario, un plano desde un ángulo muy alto hace percibir al personaje inferior, necesitado de ayuda o en una trampa. Un plano en diagonal, aunque a la altura del personaje, crea desorientación. Las tomas extremas se usan poco, porque funcionan como un resaltador. Para todo lo demás se pueden elegir las siguientes soluciones, muy comunes.

Si la idea es presentar un nuevo entorno o un nuevo personaje, la mejor opción es apuntar a un plano amplio, en el que el personaje es tomado de lejos dentro de su entorno. A menudo un plano amplio es seguido por un plano medio, en el que la atención está toda en el personaje principal. La distancia percibida debe ser la típica de una conversación amistosa con el personaje. Cuando se quiere dar énfasis a un sentimiento experimentado por nuestro personaje, un' toma de cerca es el más indicado. En el momento de elegir qué tipo de encuadre utilizar, es útil plantearse dos preguntas: qué es necesario que la audiencia vea y qué es necesario que la audiencia sienta.

La mayoría de las imágenes en un cómic son estáticas. Estas ofrecen planos simples y directos, y no llaman especialmente la atención sobre ellos. Pero como en las películas, también en los cómics es posible simular una especie de movimiento de la cámara y crear tomas dinámicas. En los planos dinámicos se pueden simular diferentes efectos, como un sentido de velocidad tengo un cambio de enfoque. Hay muchos tipos

diferentes de planos dinámicos: un movimiento de cámara en sentido horizontal o vertical es bastante común, pero el más interesante es sin duda el zoom. Un zoom puede llevar al lector dentro de una acción, o alejarlo de ella. Tiene un fuerte componente emocional, por lo que sólo debe utilizarse cuando sea necesario.

## 2.2. Cómic y literatura científica

### 2.2.1. Comics y sociedad

La primera investigación que destacamos sobre el tema comics y ciencia es de 2006 y fue llevada a cabo por la profesora Gallego Torres (2006), según la cual los cómics contribuirían a formar en la sociedad una concepción simplista y distorsionada de la ciencia tan difícil de erradicar por la educación "formal".

Gallego Torres, para llegar a esta conclusión, ha considerado algunos parámetros "cuantificables" y los ha utilizado para evaluar una muestra de 100 historietas científicas que tratan de una investigación científica o de la vida de un científico. En relación con las características muestrales de las unidades de análisis no se ha encontrado ninguna referencia al título o al año de publicación, etc., y, además, las variables consideradas están relacionadas con el hecho de que se puedan transmitir estas visiones distorsionadas:

1. Una empirista y ateorica (si en el cómic no se da énfasis a la consulta de libros de texto);
2. Una estricta (si el método científico se aplica como una receta, obteniendo inmediatamente un resultado positivo, sin tener en cuenta que incurrir en errores antes de llegar al resultado es la normalidad);
3. Un enfoque aproblemático (si no se hace hincapié en lo que ha generado la situación problemática que debe resolverse);
4. Una individualista (a menudo el personaje es único, no hay equipo);
5. Una elitista (sexista, porque la mayoría de los científicos representados en los cómics son hombres);
6. Una simplista (a menudo se representa un laboratorio sin preocuparse por la relación entre ciencia, tecnología y sociedad) (Gallego Torres, 2006).

Más allá de los resultados de la investigación, que muestran los porcentajes en que cada uno de estos aspectos está presente en la muestra de los 100 cómics, y que concluyen que los cómics son en

parte responsables de la visión distorsionada de la ciencia que tiene la sociedad, personalmente, tenemos algunas consideraciones que hacer al respecto: algunos de estos parámetros no tienen en cuenta aspectos importantes como:

- datos de hecho (en la historia de la ciencia las mujeres su incorporación con cierta consistencia ha sido muy recientemente, por lo que la mayoría de los científicos son hombres... no se puede hablar de que se transmita una visión sexista);

- exigencias relacionadas con el storytelling: la identificación con el protagonista es esencial para que el lector no perciba el cómic como un libro ilustrado muy aburrido. Ya se ha hablado de la importancia de identificarse con el personaje.

En nuestra opinión, el hecho de que no se haya tenido en cuenta el año de publicación de los cómics es una variable que no puede pasarse por alto. En los últimos 50 años, la sociedad y sus ideas han evolucionado a una velocidad tal que no pueden poner todas las publicaciones en un solo caldero. Dicho esto, la idea Gallego Torres de trabajar en la selección de parámetros que puedan en cierto sentido "medir" la influencia de los cómics sobre la sociedad es interesante porque pone de relieve aspectos problemáticos relacionados con la divulgación científica que vale la pena tener en cuenta para la realización de un cómic que trate de ciencia.

En segundo lugar destacamos el trabajo de Amaral y otros (2015) consistente en la realización un estudio sobre cómo los materiales multimedia (vídeos, comics, entrevistas de radio, etc.) podían informar a la población portuguesa sobre el uso de las células madre. El método de encuesta de retroalimentación se llevó a cabo utilizando dos cuestionarios, uno administrado antes y otro después de recibir la información. Del análisis de los resultados obtenidos parece que ha funcionado, en particular, el formato del cómic book. Los autores sostienen que es esencial destacar la forma en que diferentes materiales educativos pueden promover el conocimiento, la comprensión y la participación, probablemente influyendo en la actitud de la gente hacia la ciencia y la investigación.

En tercer lugar, una reciente encuesta telefónica entre los residentes de Los Ángeles, California, ha sacado a la luz un dato interesante: casi la mitad (43 %) de los encuestados ha declarado que sus conocimientos científicos se derivan de intereses personales en la elección de artículos, libros o documentales utilizados en el tiempo libre y por elección u curiosidad. La conclusión de esta

investigación preliminar es que los esfuerzos futuros para comprender y apoyar la comprensión de la ciencia por el público requerirán enfoques que tengan en cuenta las diferencias individuales y el contexto específico; los resultados también apoyan el valor de los enfoques educativos basados en los recursos fundamentados en los puntos fuertes (véase la motivación) en lugar de centrarse en los déficits (Falk, Storksdieck & Dierking, 2007).

En cuarto lugar destacamos el estudio de Campanario, Moya & Otero (2001) en el cual se concluye que, a veces, el uso inadecuado de la ciencia puede contribuir a crear desconocimiento científico. En todos los casos, la ciencia se utiliza como fuente de autoridad, pero el uso de los contenidos científicos resulta inadecuado, ya que, a pesar de una referencia genérica a la ciencia, no hay profundización que pueda justificar tales afirmaciones. No hay claridad, no hay referencia al método científico, que debería apoyar cualquier afirmación que se considere una teoría científica. Utilizar la ciencia para garantizar la calidad de un producto con estas premisas es contrario a los objetivos de una educación científica adecuada.

### **2.2.2. Cómic y educación científica**

Actualmente también desde la investigación universitaria ha habido una preocupación investigadora sobre el tópico relacionado con el uso de los cómics en la didáctica de las ciencias. Un caso interesante, es de los profesores Short, Randolph-Seng & McKenny (2013). de la Universidad de Oklahoma. En este estudio participaron 140 estudiantes, que se dividieron en dos grupos. Un conjunto de participantes leyó un extracto de "Black Atlas: the complete adventure", una novela gráfica creada para enseñar los conceptos clave de gestión gracias a la historia de dos estudiantes que aspiran a iniciar su propio negocio.

Un segundo grupo de participantes leyó material de un libro de texto tradicional que trata los mismos temas. Los dos grupos recibieron un breve cuestionario sobre el material tratado. Ambos grupos fueron capaces de aplicar los conceptos, pero los resultados indicaron que los participantes que habían leído la canción de la novela gráfica resultaron más capacitados para reconocer citas directas que los demás. En un estudio combinado, se pidió a 114 estudiantes de un curso de alto nivel para gerente de negocios, después de leer una novela gráfica sobre el tema, para dar una retroalimentación "experiencial" sobre el libro. Más del 80% de los estudiantes afirmaron que la novela gráfica tiene puntos fuertes para el aprendizaje de determinados aspectos más que los libros de texto tradicionales.

En el campo de las ciencias parece que las cosas se complican un poco. Explica bien el motivo Arroio (2011), profesor de Ciencias de la Educación en la Universidad de São Paulo, Brasil. El profesor realizó un interesante experimento sobre el uso de cómics en la enseñanza de las ciencias, con la participación de algunos profesores de primaria. Pidió a los profesores que elaborasen un cómic de tema científico para presentarlo a sus hijos, para luego analizar su potencial. La mayor parte del material producido estaba relacionada con experiencias cotidianas sobre cuestiones medioambientales.

Arroio, sin embargo, ha encontrado varios aspectos problemáticos, sobre los que vale la pena hacer algunas reflexiones. Por otra parte, estos cómics tenían como objetivo promover prácticas de sentido común, a través de indicaciones como "tienes" hacer la recogida selectiva, o "no tienes" tirar los papeles en la calle. Estos mensajes, además de no captar la atención del lector, se perciben como imposiciones y no contribuyen a transmitir conceptos científicos en una perspectiva interesante. Dado que en los cómics es posible adquirir significados y comprender mensajes de forma sencilla e inmediata, es fundamental que el profesor investigue cuáles pueden ser las situaciones de mayor interés. También es importante elaborar el tema con método, y crear una historia atractiva para que el cómic pueda convencer (Arroio, 2011). Sólo así un cómic puede representar un instrumento alternativo pero eficaz para dialogar sobre la realidad. Si falta este paso, el riesgo inevitable es el de desperdiciar el enorme potencial que la narración de cómics tendría para acercar a los niños a las ciencias.

Otro aspecto que no debe subestimarse, según Arroio (2011), lo expone Jay Lemke, PhD en Física Teórica y profesor de ciencias de la educación en la Universidad de Michigan. Lemke subraya el riesgo de una trampa en la que a menudo los profesores de ciencias caen: la decontextualización, dogmática y abstracta. En la enseñanza, el contenido del programa de ciencias a veces perpetúa una especie de saber místico, tan elevado en la forma y en los conceptos que es difícil de comprender. Esta práctica es extremadamente dañina, con el riesgo de hacer la ciencia dogmática, autoritaria, impersonal, y a veces, inhumana para muchos estudiantes.

Según el profesor, la tarea más importante de la educación científica es transmitir a los estudiantes sólo los aspectos más relevantes del método científico. Es importante entender "por qué" ocurre un proceso, el énfasis debe darse a la relación entre causas y efectos, a los aspectos más prácticos. Esto es para dar a los jóvenes las herramientas necesarias para resolver situaciones problemáticas. Los estudiantes tendrían que desarrollar las habilidades que les serán útiles para tratar las cuestiones

controvertidas que se preparan para afrontar en una sociedad democrática. Una enseñanza más consciente de las ciencias se puede obtener también a través de historietas, siempre que estén bien construidas.

Otro aspecto a destacar del binomio cómics y educación científica podemos encontrarlo en "Physics - A Story in Image" un proyecto que se propone cada año desde hace varios años en el marco del programa de preparación a la profesión de profesor ofrecido por la Universidad de Timisoara, Rumanía. Se trata de un proyecto en el que los aspirantes a profesores se dedican a la realización (y administración a estudiantes) de cómics de contenido científico utilizando herramientas informáticas.

Sin embargo, nos preguntamos si el simple uso de programas informáticos para la realización de cómics es suficiente para determinar un buen resultado de aprendizaje. Quiero decir, ¿qué se puede decir sobre la historia? Un cómic no es sólo una secuencia de imágenes, es también una historia que, para funcionar, debe respetar los parámetros del storytelling. ¿Qué tan larga es? ¿es aburrida? ¿es entretenida? etc.

En cualquier caso, la investigación ha puesto de manifiesto aspectos interesantes y en consonancia con otras investigaciones: aptitud para aprender a través de la utilización de la historieta; mayor interés y participación de los estudiantes de las zonas rurales en comparación con los de las zonas urbanas; la retroalimentación de los profesores también es positiva (Craciun & Bunoiu, 2019)

Otro estudio útil para nuestro propósito es el realizado por Carrascosa (2017). El profesor destaca cómo implicar a los estudiantes a encontrar errores de concepto en comics, historias o libros que traten de ciencia puede ayudar a estimular el análisis crítico tan útil para construir el pensamiento científico. Nos interesa saber a qué se refiere el profesor cuando habla de errores de concepto. Esta información podría ser útil para la creación de la clave de lectura crítica del cómic científico que queremos construir:

- Errores de concepto relacionados con el diseño. Un ejemplo típico de este error es ver dos personajes de diferente tamaño lanzarse desde una misma plataforma y llegar al suelo en diferentes momentos (el más grande suele llegar antes). En realidad los dos personajes deberían aterrizar al mismo tiempo porque la fuerza de atracción gravitacional no depende del peso sino de la densidad de las masas;

- Excesiva simplificación en la escritura. Cuando se tiene poco espacio para el texto, como en una viñeta o en una ilustración en un diario o en un libro, un error en el que es fácil incurrir es la excesiva simplificación. Como en el caso de que, hablando de astronautas, se dice que trabajan "sin gravedad". De este modo se pasa y se refuerza un concepto erróneo, que es que en el espacio no hay gravedad (Carrascosa, 2005).

El concepto en el que los estudiantes pueden participar en la búsqueda de errores o puntos débiles en los comics científicos es tomado por Dellacqua & Peralta (2019). De un experimento realizado en una clase de quinto grado se desprende que los cómics científicos constituyen un medio excelente de enseñanza informal. Además, el estímulo de debatir los aspectos críticos del formato, la estructura y el contenido, a través de la comparación, refuerza los conocimientos de los estudiantes, poniendo de relieve la importancia de la correcta representación del método experimental, fundamento de la innovación científica.

### **2.2.3. Cómics y comunicación eficaz**

Varios profesionales de la salud comienzan a considerar los cómics un medio útil tanto para el tratamiento, como para la educación de los pacientes (McAllister, 1992). Recientes investigaciones realizadas en el ámbito médico sobre el uso del cómic como medio de comunicación eficaz entre médico y paciente (Anderson, Wescom & Carlos, 2016) han puesto de manifiesto algunos aspectos interesantes. El estudio en cuestión fue realizado utilizando un cómic de biopsia hepática para comunicar riesgos y tratamientos a los pacientes.

De la observación de los comentarios obtenidos se desprende que la manipulación de las imágenes, el cambio de la perspectiva, el cambio progresivo del fondo y el recorte, atraen la atención sobre los componentes clave de la experiencia del tratamiento. La modificación visual del texto utilizando caracteres tipográficos o tamaños de caracteres diferentes subraya la importancia que un paciente o un médico atribuye a un pensamiento particular, acentuando aún más el mensaje que ya se transmite por las imágenes (Anderson et al., 2016).

También en el campo médico, Green (2010) se pronuncia a favor de la utilización de los cómics para una comunicación eficaz, afirmando que pueden ser un buen recurso sobre todo para aquellos pacientes que están a la espera de obtener noticias sobre su estado de enfermedad.

Furuno & Sasajima (2015) realizaron un estudio con el fin de averiguar si los cómics sobre temas médicos podrían ayudar a los médicos a obtener el consentimiento informado de sus pacientes en condiciones de emergencia. El consentimiento informado se ha vuelto bastante común hoy, pero todavía existe una gran diferencia entre médicos y pacientes en cuanto a la comunicación de las condiciones clínicas.

Algunas condiciones de emergencia (como los accidentes cerebrovasculares, por ejemplo) dificultan aún más la obtención del consentimiento, ya que los pacientes y sus familias a menudo tienen dificultades para comprender los términos técnicos en el plazo más breve posible. Se trata de productos de historietas que ilustran la patogénesis de algunas enfermedades, condiciones clínicas, tratamiento, pronóstico y rehabilitación. Así, entre septiembre de 2010 y septiembre de 2012, se ofrecieron cuestionarios de aprobación a las mismas familias. Los resultados (Furuno & Sasajima, 2015) mostraron que el 94% de los encuestados preferían o preferirían el uso del cómic en otras situaciones médicas.

En una investigación llevada a cabo por Appel & Ritcher (2006) sobre la capacidad de modificar las creencias preconcebidas, 81 participantes fueron invitados a leer una historia ficticia que contenía tanto verdades como falsedades sobre temas de dominio común. Mientras que los conocimientos previos han sido debilitados por la lectura, la información falsa procedente de ella ha tenido un claro efecto persuasivo indicando que las creencias adquiridas leyendo narraciones imaginarias se integran en el conocimiento del mundo real.

Por lo tanto, la información sobre los hechos contenidos en las narraciones imaginarias puede inducir cambios sustanciales en las creencias del mundo real de los lectores. Estos efectos se producen porque los lectores se transportan psicológicamente al mundo imaginario de la narración, son persistentes e incluso aumentan con el tiempo (Appel & Ritcher, 2006).

## 2.3. Discusión

El objetivo de este trabajo es determinar si, además de los estudios que aportan sustento empírico acerca de la eficacia del uso de los cómics en la divulgación científica, existen otros tipos de indicadores que pueden incidir en que algunos cómics sean mejores que otros en la transmisión del conocimiento científico. La propuesta consiste, pues, en organizar una investigación acerca de lo que actualmente está relacionado con el estudio las enseñanzas de la ciencias a través de los cómics. En este sentido, se han tenido en cuenta en el estado de la cuestión referencias sobre Enseñanza de Ciencias, sobre la Didáctica de las Ciencias, así como los consejos de algunos de los mejores storytellers, dibujantes de cómics y directores de películas de dibujos animados, entre otros los de Pixar.

La comparación de la información procedente de estas tres estrategias nos dió elementos de juicio suficientes para revisar con un poco de sentido crítico el guión de un cómic sobre la historia de Arquímedes que la presente autora de este trabajo de tesis doctoral había producido hacía unos años para sus estudiantes. Pretendíamos elaborar una historia más eficaz en la transmisión de contenidos científicos, más rigurosa en el aspecto científico, pero a la vez también más inmersiva desde el punto de vista del storytelling. Nuestro objetivo es identificar los puntos débiles de dicha historia, con el fin de mejorarla y, en su caso, proponerla como una estrategia plausible para el desarrollo de una investigación posterior que sea capaz de demostrar empíricamente el potencial del cómic como elemento didáctico en la mejora el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

A este respecto pensamos que, al menos, hemos avanzado moderadamente. Varios estudios han demostrado que las dificultades en la adquisición de contenidos científicos están vinculadas a la naturaleza misma del lenguaje muy específico, a la denominada jerga científica. La narración, por el contrario, presenta un lenguaje simple y universal que, en consecuencia, ofrece a los cómics un enorme potencial para implicar a diferentes públicos, incluso en las materias científicas. De hecho, según diversos estudios, materiales didácticos que combinan elementos del currículum con la narrativa se perciben como estimulantes y aumentan el interés de los niños por las ciencias.

Se han analizado varios estudios desarrollados dentro del tópico sobre el uso de los cómics en la divulgación científica, que han puesto de manifiesto algunos aspectos problemáticos relacionados con la enseñanza de las ciencias. Acerca de este asunto, si los cómics utilizados no cumplen determinados parámetros existe el riesgo de que se transmitan informaciones distorsionadas.

Por ejemplo, si en el cómic no se hace hincapié en la consulta de libros de texto; o si el método científico se aplica como una receta que permite obtener inmediatamente un resultado positivo

(mientras que incurrir en errores antes de llegar al resultado es normal); o si no se da importancia a lo que ha generado la situación problemática a resolver; o si el personaje es único y no trabaja en equipo; o si no se presta atención a la relación entre el descubrimiento científico y la sociedad, etc.

Otros consejos son los de no usar los cómics para imponer comportamientos adecuados porque no funciona, asegurarse de ayudar a transmitir el contenido científico en una perspectiva interesante, no hacer aparecer la ciencia dogmática y autoritaria como ocurría en el pasado y finalmente hacer hincapié en la relación entre causa y efecto.

La narrativa, además, debe ser llevada a cabo de modo que no haga demasiado evidente la intención educativa, que para el lector se transformaría de otro modo en impresión de querer ser manipulado. Por último, cuando se propone una ley general, acompañada de ejemplos, ¡la percepción del lector se ve más influida por los ejemplos que por la regla general, por tanto, bienvenidos los ejemplos!

Finalmente, se analizaron las características que una historia debe tener según los storytellers más famosos del mundo, los escritores de Pixar. Estos profesionales sugieren el uso de algunos trucos relacionados con diferentes aspectos: la composición de la imagen, el uso de trazos de diferente espesor o diferente inclinación, matices, líneas o formas que transmiten ciertas sensaciones, características físicas o de carácter que mejor se adaptan a un personaje, obstáculos sin los cuales la historia resultaría plana, puesta en juego, estructura de la narración, lenguaje visual.

Todo lo dicho hasta ahora, me dio un análisis de 360 grados de las características que una historia científica de historietas debería tener para desarrollar todo su potencial.

Lejos de la certeza de haber explorado todo lo que se ha dicho o escrito al respecto, me siento satisfecha de los conocimientos adquiridos hasta ahora. Por lo que he aprendido, a continuación se presenta una primera revisión del guión de mi cómic de Arquímedes, con la esperanza de que también se pueda utilizar en el marco de un estudio de las potencialidades del cómic en la divulgación científica.

## 2.4. En conclusión

Retomando lo que se apunta en las conclusiones, consideramos si los aspectos que se han destacado con anterioridad son evidentes en el guión original de "Arquímedes y el enigma de la corona".

- *Consulta libros de texto*: no está presente. Se podría insertar una viñeta en la que el rey dice que se dirija a Arquímedes porque su fama es reconocida en toda la Magna Grecia. O una en la que Arquímedes, pensando en cómo resolver el problema, hojea un libro...

- *Método científico como una receta*: en efecto, no hay más experimentos que el de la bañera, pero el experimento no era premeditado. Sucedió, llegó la idea cuando Arquímedes menos lo esperaba. Además no quisiera que la historia fuera demasiado larga y aburrida. Me gustaría dar espacio sólo a los aspectos más interesantes, siempre que estén bien conectados en un hilo lógico.

- *Qué ha provocado la situación problemática*: el problema a resolver (el enigma de la corona) está bien presentado y es el motivo de toda la historia.

- *El personaje no trabaja en equipo*: aquí no puedo hacer nada. Arquímedes descubrió el principio por sí solo. Aún no era la época de los científicos que trabajan en equipo.

- *Relación entre descubrimiento científico y sociedad*: es evidente. El descubrimiento llevó a Arquímedes a dar una respuesta precisa de que el orfebre era un impostor y que no se podía confiar en él.

- *Intención educativa demasiado evidente*: no puedo ser yo quien juzgue, pero de hecho la historia parece responder a los cánones del storytelling. Hay un problema que resolver, un personaje en el que identificarse, un villano que condenar, y en todo esto también una noción que aprender, pero que es la clave en la que se basa la conclusión de la historia.

- *Ejemplos (más claros que la regla general)*: hay dos. El primero, en el que Arquímedes explica al rey cómo descubrió el principio, y el segundo, en el que invita al rey (en realidad el lector) a hacer el experimento mental con el oro y la piedra. Me gustaría hacer el segundo ejemplo más claro, introduciendo viñetas en las que se ve lo que sucede. Así el lector tendría la confirmación de haber imaginado lo correcto y la satisfacción de haber resuelto él mismo el enigma. En realidad la piedra no tiene nada que ver con la historia original, pero ayuda a comprender el principio sin esfuerzo.

- *No imponer comportamientos*: criterio respetado.

- *Contenidos científicos en una perspectiva interesante*: creo que si la comprensión del principio físico es condición necesaria para una conclusión satisfactoria de la historia, los contenidos científicos se presentan efectivamente en una perspectiva interesante.

- *Ciencia no autoritaria y no dogmática*: La autoridad, eventualmente, está representada por el rey y no por el científico. Mucho menos la ciencia parece dogmática. Ninguna toma de posición sobre el principio físico, la idea se explica claramente con el ejemplo.

- *Relación entre causa y efecto*: no está bien representado, aunque se invita al lector a realizar un experimento mental. Se dan ejemplos, pero falta la visualización del experimento. Me gustaría añadir unas viñetas al final de las cuales quede más claro lo que ha ocurrido.

El cómic completo está en el apéndice.

### 3. Analisis bibliométrico

La investigación en Ciencias Sociales hace referencia a dos paradigmas diferentes: uno neopositivista y uno interpretativo. El paradigma positivista es que los hechos sociales tienen una realidad objetiva, por lo que las variables que los afectan pueden ser identificadas y medidas (análisis cuantitativo). El paradigma interpretativo es aquel según el cual los hechos sociales dependen estrechamente del contexto y las variables que los influyen son complejas, interrelacionadas y difíciles de medir (análisis cualitativo).

La investigación cuantitativa y cualitativa son dos métodos complementarios que pueden asociarse en las encuestas para obtener resultados que sean a la vez amplios y profundos. En términos sencillos, los datos cuantitativos proporcionan las cifras que demuestran los aspectos generales y globales de la investigación, mientras que los datos cualitativos proporcionan los detalles y las profundizaciones necesarias para comprender plenamente sus implicaciones. Para que estos dos métodos produzcan los mejores resultados en las encuestas, es importante comprender las diferencias que los distinguen.

Los datos cuantitativos sirven para recoger los hechos, los hechos, las cifras. Se trata fundamentalmente de datos estadísticos y estructurados, que sirven de base para extraer conclusiones de carácter general de las investigaciones realizadas. Los datos cuantitativos ayudan cuando la investigación pretende obtener una visión general sobre un tema. La investigación cualitativa es útil, por ejemplo, cuando los autores describen los puntos fuertes o débiles de la encuesta realizada por cada uno de ellos.

En la investigación cuantitativa se clasifican las características de la realidad, se cuentan las recurrencias, y se construyen modelos estadísticos para explicar de manera lo más objetiva posible las observaciones hechas. Los resultados pueden generalizarse a poblaciones más amplias de la muestra. Por otra parte, en la investigación cuantitativa, la descripción de los datos que se presentan es menos rica que la del análisis cualitativo. Debido a la clasificación, el análisis es, en algunos casos, una idealización de los datos más frecuentes, mientras que los fenómenos raros tienden a ser poco considerados o a desaparecer por completo.

Debido a la necesidad de coherencia estadística, en un análisis cuantitativo deben existir frecuencias mínimas para los datos que puedan tenerse en cuenta. Esto implica que a veces las categorías deben

ser unificadas lo que conduce a una pérdida de riqueza en los datos. Los datos cuantitativos, en definitiva, son eficaces para probar hipótesis, pero pueden faltar detalles de tipo contextual.

Los datos cualitativos recogen la información que intenta describir un tema más que medirlo: son impresiones, opiniones y puntos de vista. Una encuesta cualitativa está menos estructurada y tiene por objeto profundizar en el tema en cuestión para recabar información sobre las motivaciones, el pensamiento y las actitudes de las personas. Todo esto, por una parte, proporciona una comprensión profunda de las preguntas de la investigación, pero, por otra, hace más difícil analizar los resultados.

Se opta por realizar una encuesta cualitativa cuando se desea iniciar una investigación que ponga de manifiesto los problemas o las oportunidades en un determinado ámbito de trabajo. Las ideas que se desprenden de este tipo de encuesta pueden convertirse en hipótesis que pueden demostrarse mediante una investigación cuantitativa. El objetivo principal de la investigación cualitativa es describir uno o más procesos en un contexto específico. El objetivo del análisis cualitativo es una descripción completa y detallada, cuyos datos requieren más tiempo para ser adquiridos y son menos generalizables.

Dicho esto, es fácil comprender que los dos métodos de búsqueda son complementarios entre sí y funcionan mucho mejor si se asocian, en lugar de si se realizan por separado. En un mundo de grandes datos, las cifras y las estadísticas constituyen una base sólida para nuestras decisiones, pero esta base es incompleta sin la información recogida por las observaciones en el contexto investigado. Pensemos en el nacimiento de una tendencia... Sería imposible investigarla con referencia exclusivamente a una investigación de tipo cuantitativo, ya que ésta no tendría en cuenta los números pequeños.

Es precisamente en esta óptica que trabajaremos, procediendo simultáneamente en dos frentes: a través de un análisis bibliométrico por un lado y un análisis de los contenidos por el otro. Por último, trataremos de integrar los datos procedentes de las dos encuestas con el fin de tener una visión lo más completa posible del proceso de enseñanza - aprendizaje de la ciencia a través de los cómics.

### 3.1.1. Límites y potencialidades del análisis bibliométrico

En los últimos años se ha producido un debate cada vez mayor en los diferentes ámbitos que intervienen en la medición de la calidad de la investigación, basado en el estudio de los sistemas de evaluación y en su utilización más adecuada. Junto a los sistemas tradicionales de evaluación de la "calidad" de la investigación basados en el "juicio de pares", se han combinado métodos de medición del "impacto" que puede tener, utilizando como instrumento principal, un número cada vez mayor de indicadores bibliométricos que puedan adaptarse a los diferentes tipos de productos a examinar.

Como alternativa a los indicadores tradicionales y ya establecidos (como Impact Factor y H-index), se han desarrollado numerosos índices bibliométricos, la mayoría derivados de los ya existentes (G-index, Eigenfactor Score, etc), mientras que otros, más recientes, que miden nuevas formas de impacto basadas en parámetros alternativos, utilizando datos recopilados y procedentes especialmente de las redes sociales (en primer lugar, Altmetrics). El debate es muy abierto y la amplia bibliografía demuestra que el problema de encontrar un método adecuado para evaluar la investigación está lejos de resolverse.

Cualquiera que sea el indicador utilizado para la evaluación, en la base está siempre el recuento de las "citas", como unidad de medida principal que está en la base de los diferentes sistemas de cálculo bibliométrico. Si una investigación publicada en una revista cualificada ha sido aprobada por un comité de homólogos o por el editor, el trabajo publicado será citado por otros investigadores en reconocimiento a la contribución que ha hecho al sector.

El mérito principal del análisis bibliométrico, pero también su límite, es su naturaleza cuantitativa. El análisis citacional es el instrumento fundamental de la disciplina de investigación conocida como bibliometría, y es el método más utilizado para establecer conexiones a otros trabajos o a otros buscadores. Debido a un crecimiento sin precedentes de la disponibilidad de recursos electrónicos, una de las cuestiones que se han planteado con fuerza y que ha sido objeto de estudio por parte de los científicos es la cantidad de recursos electrónicos que se mencionan en los distintos ámbitos de interés más que los recursos en papel. Por ejemplo, hay estudios que registran un alto índice de citas para trabajos en línea en el campo de la literatura informática; sin embargo, para el ámbito humanístico la versión impresa sigue siendo un punto de referencia.

El análisis citacional se considera la máquina donde descansa el factor de impacto, conocida como IF. Aunque durante muchas décadas el Índice de Citación de la Ciencia del Instituto de Información Científica - ahora Web of Science - ha sido considerado la herramienta principal para medir las citas, los servicios web han estado cuestionando su dominio durante algún tiempo. Dado que los estudios realizados en los últimos años han demostrado que cada servicio también produce resultados bastante diferentes entre sí, Desde el punto de vista del análisis cuantitativo, parece muy necesario utilizar diversas fuentes de cita para juzgar el impacto real de una obra científica. La web ha tenido un gran impacto en la búsqueda del análisis citacional.

En los últimos años, docenas de bases de datos, incluyendo Scopus, han aparecido en la escena, permitiendo modos y patrones de cita de trabajos científicos nunca antes vistos. Por eso, en nuestro trabajo, tendremos en cuenta los datos procedentes tanto de WOS como de SCOPUS.

### **3.1.2. Objetivos de investigación del estudio bibliométrico**

Los objetivos que guían el estudio bibliométrico implementado son los siguientes:

1. Caracterizar la producción científica indexada en las bases de datos SCOPUS y WoS correspondiente al time span 2011-2020 acerca del uso del cómic como recurso didáctico en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y a partir determinados campos bibliométricos: sources donde se publican, affiliations of the authors, authors más prolíficos, así como países de procedencia.
2. Establecer la estructura conceptual de la producción científica sobre el uso del cómic como recurso didáctico en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias a través del análisis de co-ocurrencias, los mapas temáticos y el análisis de correspondencias múltiples entre algunos campos bibliométricos considerados de los autores más prolíficos.

### 3.1.3. Materiales y métodos

Para el análisis de los datos se han considerado las fuentes de información, los documentos científicos recuperados, los países de producción de los manuscritos y las palabras clave de los artículos científicos. En este sentido, se puede afirmar que metodológicamente se trata de un estudio longitudinal de tendencias (trends). En el mismo se aborda la evolución y desarrollo de temáticas de gran interés relacionadas con el uso del cómic como recurso didáctico en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias durante la década que va desde 2011 a 2020.

#### *Variables del estudio*

Como variables de estudio hemos considerado toda una serie de campos o parámetros típicamente bibliométricos y que constituyen la forma en que la producción científica está estructurada en las diversas bases de datos, a saber: authors, sources, affiliations, countries and keywords (tanto las keywords plus, como las author's keywords).

#### *Recogida de Información*

La muestra de artículos que conforman el objeto de análisis de la presente investigación han sido elegidos, tanto de la base de datos Web of Science (WoS), como de la SCOPUS y se incluyen diferentes tipologías de trabajos: articles, proceedings paper, etc. Todos tienen en común que incluyen experiencias de divulgación científica (que excluye a las Ciencias de Artes y Humanidades, Sociales, Psicología y Económicas) a través del uso de los cómics. La búsqueda se filtró por el "título" utilizando los términos de búsqueda "comics\*" y "science" junto con el operador booleano "and". En cuanto al intervalo temporal se ha elegido investigar el período que va de 2011 a 2020. La primera búsqueda dio como resultado la presencia de 320 resultados en WoS y 522 en SCOPUS, pero la mayoría de los artículos seleccionados no tenían una relación muy estrecha con la temática elegida como objeto de estudio. Por esta razón, el siguiente paso fue seleccionar las categorías relacionadas con los ámbitos de las ciencias consideradas.

Se han seleccionado 17/99 categorías en WoS y 15/25 en SCOPUS. La búsqueda dio esta vez 120 resultados para WoS y 400 para SCOPUS. Por último, se analizaron todos los resúmenes de estos trabajos con el fin de confirmar que el tema tratado estaba estrechamente ligado a la divulgación científica a través de los cómics. Por último, se ha llegado a una selección de 60 records en WoS y 65 en SCOPUS que una vez comprobada su duplicidad han quedado, finalmente, en 60 records. Todo este proceso de refinado y selección de artículos queda reflejado en el siguiente flow diagram. A pesar de no tratarse de una investigación que pueda incardinarse como una systematic review o

un meta-analysis hemos creído conveniente la utilización de la estrategia Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA).

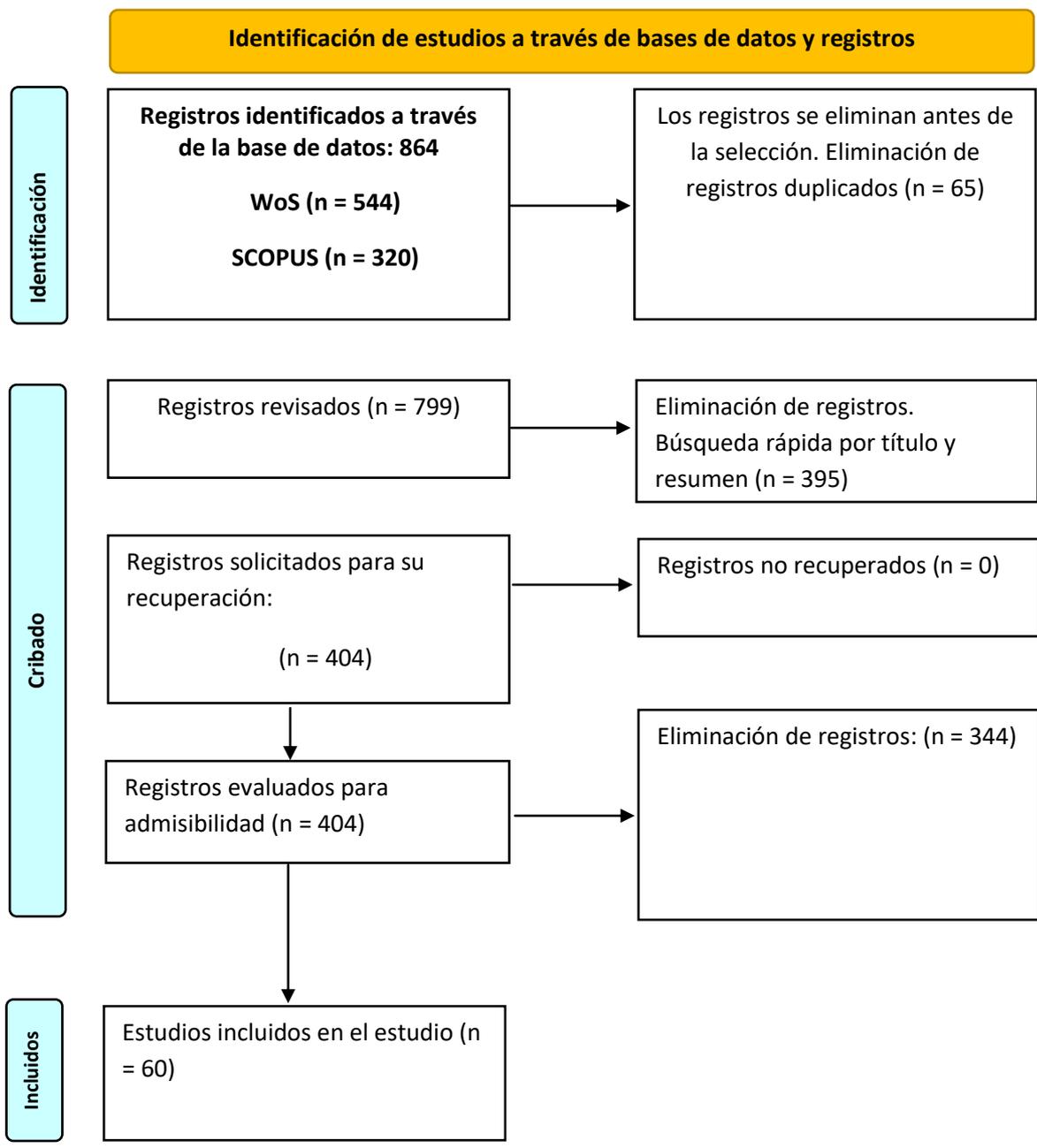


Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA del estudio bibliométrico.

### 3.1.4. Análisis de datos

Para la construcción y visualización de los gráficos, mapas de redes y mapas temáticos se han utilizado la interfaz Biblioshiny de RStudio v.4.0.4 (Aria & Cuccurullo, 2017) y el programa VOSviewer v.1.6.16 (Van Eck & Waltman, 2010), ambos complementados con la herramienta de data visualization Flourish (2022). Finalmente, el análisis de correspondencias múltiples de ha implementado mediante SPSS, v.28 (IBM Corporation, 2021). A continuación, presentamos los principales resultados obtenidos al respecto.

#### *Información principal sobre los documentos finalmente seleccionados*

En la siguiente figure (Figura 3) se detalla la información principal relativa a la muestra recuperada de los 60 documentos científicos, finalmente considerados. Esta información está conformada por el time span elegido, las sources de procedencia, the authors de los documentos, etc.



Figura 3. Información principal sobre los documentos.

## *Caracterización de la producción científica seleccionada*

### *Producción científica*

En la siguiente figura (Figura 4) se presenta un gráfico con el crecimiento científico anual que comprende the time span de 2011 hasta 2020.

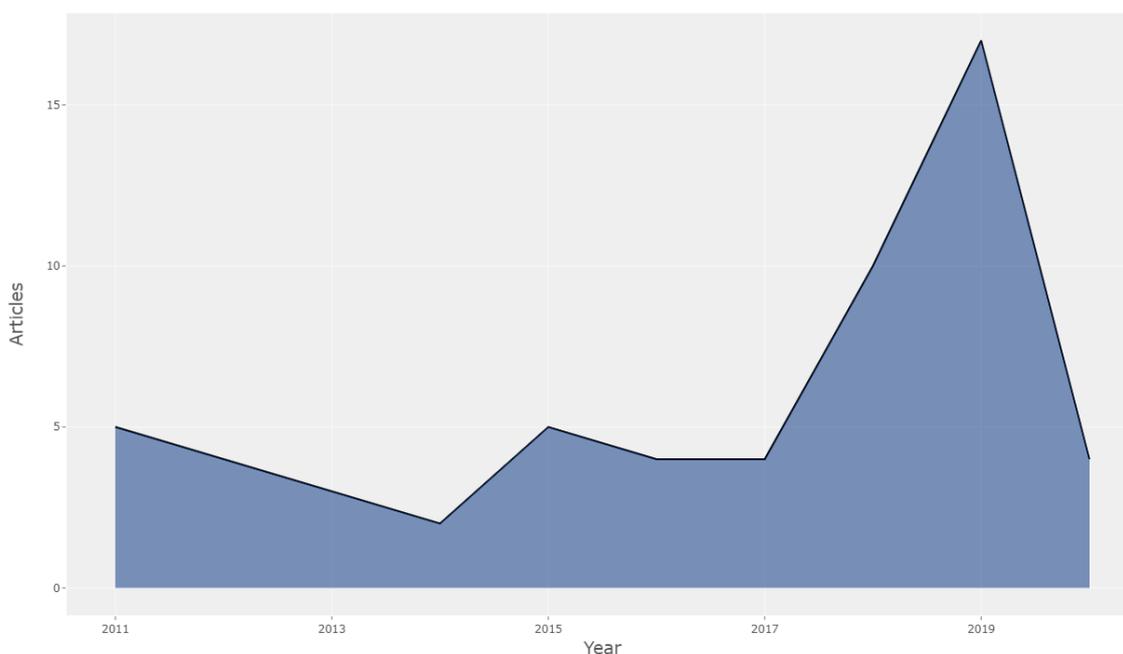


Figura 4. Producción científica anual.

De la anterior figura se infiere, y siguiendo la Ley de Crecimiento Logístico de la ciencia de Price (1973), que la temática de este estudio acerca de la divulgación de la ciencia mediante comics, ha mantenido a lo largo de los años desde 2011 hasta 2017 un nivel de producción de literatura científica constante, sin grandes crestas que manifiesten un destacable aumento o descenso de la producción. Sin embargo, destaca el año 2018 con una producción más importante con 10 manuscritos y el año 2019 con una producción que podría considerarse más exponencial a la vista de los datos del resto de años con un total de 17 manuscritos. Nuevamente, el año 2020 vuelve a experimentar un descenso en la producción colocándose en 4 documentos científicos, siendo este valor la moda de todos los años estudiados.

Tabla 1. Número de documentos por año.

Año	Artículos
2011	5
2012	4
2013	3
2014	2
2015	5
2016	4
2017	4
2018	10
2019	17
2020	4

*Source clustering.*

En este apartado se identifican las principales fuentes de información a partir de un determinado número de publicaciones científicas. Para ello, hemos considerado la Ley de Bradford de dispersión de la literatura científica (Huang & Ho, 2011; Pulgarín & Gil-Leiva, 2004; Tortosa & Civera, 2002) en donde se explica cómo en la producción de documentos científicos existe una distribución altamente desigual donde un pequeño porcentaje de documentos se distribuyen sobre una gran cantidad de revistas, mientras que la mayoría de documentos se concentran sobre una pequeña población de revistas u otras fuentes de información (Urbizagástegui Alvarado, 1996; 2016; Desai et al., 2018). La Ley de Bradford contempla hasta tres zonas diferentes de distribución de la literatura, aunque en nuestro caso nos centramos en mostrar únicamente la zona 1 que es la que recoge las principales fuentes.

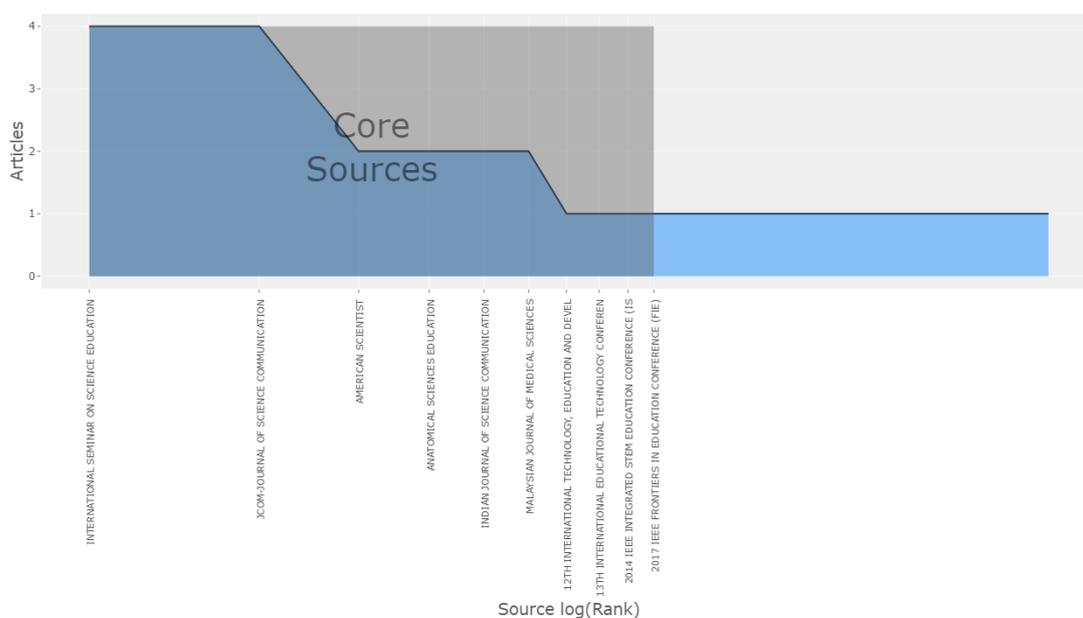


Figura 5. Ley de Bradford para la dispersión de nuestra muestra de artículos en las principales fuentes.

Tabla 2. Fuentes dispersas en la zona 1 de Bradford y sus citas totales.

Fuentes	Clasificación	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Citaciones totales	Zonas
International Seminar on Science Education	1 <sup>st</sup>	4	4	0	1
JCOM-Journal of Science Communication	2 <sup>nd</sup>	4	8	23	1
American Scientist	3 <sup>rd</sup>	2	10	1	1
Anatomical Sciences Education	4 <sup>th</sup>	2	12	48	1
Indian Journal of Science Communication	5 <sup>th</sup>	2	14	0	1
Malaysian Journal of Medical Sciences	6 <sup>th</sup>	2	16	1	1
12th International Technology, Education and Development Conference (INTED)	7 <sup>th</sup>	1	17	0	1
13th International Educational Technology Conference	8 <sup>th</sup>	1	18	4	1
2014 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)	9 <sup>th</sup>	1	19	0	1
2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)	10 <sup>th</sup>	1	20	0	1

A la vista de los datos obtenidos en la Figura 5 y la Tabla 2, se observa que una parte importante de la producción, concretamente 20 documentos científicos que suponen el 33.33% de la muestra, se distribuye en 10 fuentes distintas siendo 5 de ellas revistas académicas y otras 5 actas de congresos internacionales. Todas estas fuentes de información se encuentran distribuidas en la zona 1 de Bradford y esto supone que, durante el intervalo de tiempo estudiado, estas fuentes son las más seleccionadas por los autores a la hora de publicar sus trabajos científicos cuando la temática gira en torno a la divulgación científica a través de los cómics. Quizá lo que más llama la atención sea que la segunda fuente más importante de divulgación o publicación de trabajos en torno a este tópico tras las revistas científicas sean los congresos internacionales con un total de hasta 14 fuentes distintas (Figura 1).

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el impacto de las publicaciones, es decir, las citas recibidas a los trabajos publicados en las fuentes de información seleccionadas. En este sentido, 4 de las 5 revistas identificadas suman, al menos, una cita; mientras que tan solo 1 de los 5 congresos internacionales seleccionados ha sido citado con 4 citas siendo este el congreso *13<sup>th</sup> International*

*Educational Technology Conference*. Aquí se comprueba la relevancia y repercusión que para la comunidad científica tienen las revistas académicas tanto a la hora de ser la principal fuente de publicación de cualquier trabajo científico, así como en el momento de citar algún documento que sea de especial interés para nuestros estudios o investigaciones. De este modo, de las revistas más importante destacan *Anatomical Sciences Education* y *JCOM-Journal of Science Communication* con 48 y 23 citas, respectivamente. Sin embargo, podemos identificar otras dos revistas académicas que, en cuanto a citas se refiere, se situarían en primera posición como la revista *CBE-Life Sciences Education* con 53 citas y la revista *Research in Science Education* con 38 citas, aunque esta por su producción no se encuentren en esa zona 1 de Bradford.

#### *Producción y colaboración entre países*

En cuanto a los países se analiza la producción de aquellos más productivos (Table 3) así como la producción surgida de las principales colaboraciones entre los países más relevantes (Figure 5 y Tabla 3).

Tabla 3. Producción de los países más relevantes

<b>Países</b>	<b>Producción</b>
USA	25
Brazil, Indonesia	12
France	11
Portugal	9
Canada	8
UK	6
Germany, Malaysia, Sweden	5
China, South Korea, Uruguay	4
Finland, Italy, Turkey	3
Netherlands, Romania, Spain	2

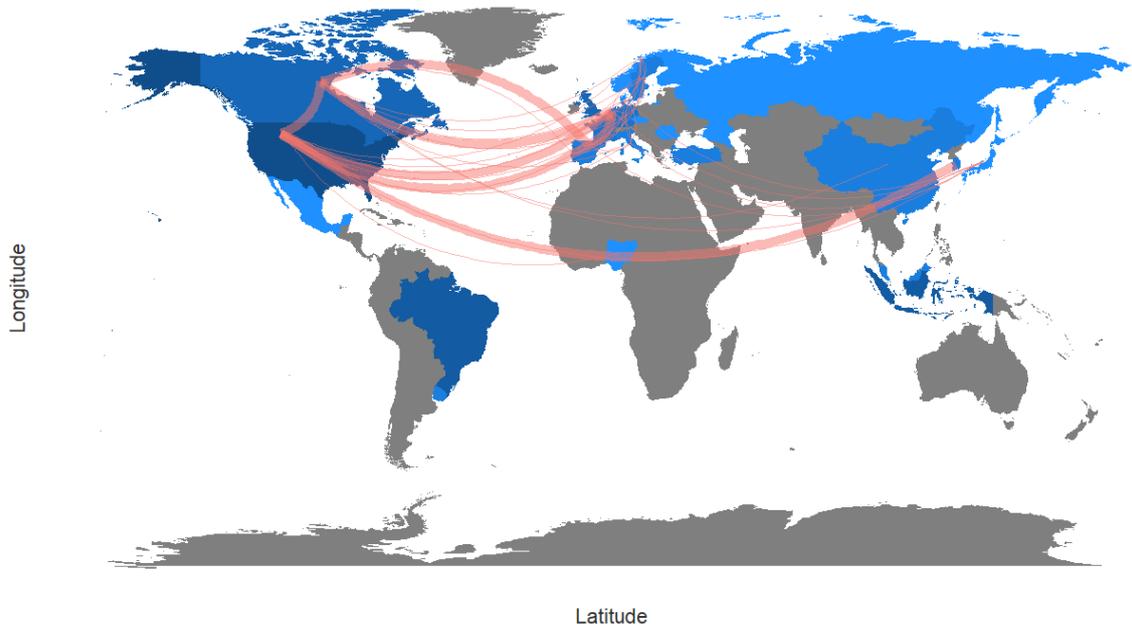


Figura 6. Mapa de colaboración por países.

Tabla 4. Frecuencia de las principales colaboraciones entre países.

País A	País B	Frecuencia de colaboración
Canada	Netherlands	2
France	Canada	2
France	Netherlands	2
USA	Canada	2
USA	France	2
USA	Korea	2
USA	Netherlands	2

Encontramos en USA el país más productivo apareciendo en 25 de los 60 documentos analizados. Además, USA es el país que colabora con un número mayor de países de diferentes continentes. A nivel general, no se aprecia una alta colaboración ya que el máximo encontrado es de dos colaboraciones entre países siendo, además, 40 de las 47 colaboraciones halladas en total, colaboraciones ocasionales pues únicamente han colaborado en una sola ocasión.

### *Estructura conceptual*

El aspecto clave de la estructura conceptual es el concepto de co-ocurrencia de términos clave (palabras clave de autor, palabras clave plus, etc.) a través del cual se describe el contenido de los documentos de un conjunto de datos. (Belfiore et al.,2022; Callon et al., 1991). La estructura conceptual es un término cada vez más explorado en los trabajos bibliométricos actuales (Naeni et al., 2022; Nasir et al., 2020; Rodríguez-Sabiote et al.,2020; Wang et al.,2022), ya que es capaz de definir los principales temas que pueden considerarse tendencias en la producción científica (Rodríguez-Sabiote et al.,2022).

### *Análisis de co-ocurrencia de la estructura conceptual*

Para la generación del mapa de co-ocurrencia se establece un umbral mínimo de dos ocurrencias por palabra clave, siendo de un total de 239 palabras clave (176 author's keywords y 63 keywords plus) 35 las palabras clave que alcanzan dicho umbral. Para cada una de las 35 palabras clave se calcula la fuerza total de los enlaces de co-ocurrencia con otras palabras clave utilizando el método asociación. La interpretación de los resultados se basa en la teoría de grafos, una disciplina matemática que estudia las relaciones entre pares de objetos a partir de la generación de un grafo. El mapa de red que se muestra más adelante (Figure 6) se asienta en un multigrafo conformado por

aristas que enlazan dos vértices simétricamente. Previamente se muestra en la Table 5 la totalidad de las palabras clave que conforman el mapa de red de la Figure 4, indicando sus valores de ocurrencias, fuerza total de sus enlaces y el cluster al que pertenecen dentro del mapa de red generado.

Tabla 5. Ocurrencia entre las palabras clave más relevantes y la fuerza total de los enlaces

<b>Todas las palabras clave (palabras clave del autor + palabras clave plus)</b>	<b>Ocurrencias</b>	<b>Fuerza total del enlace</b>	<b>Grupos</b>
Android	3	5	Grupo 1 (rojo)
Libros	6	16	Grupo 1 (rojo)
Niños	2	13	Grupo 1 (rojo)
Cómic	3	9	Grupo 1 (rojo)
Dibujo	2	7	Grupo 1 (rojo)
Representaciones	2	11	Grupo 1 (rojo)
Estereotipos	2	7	Grupo 1 (rojo)
Estudiantes	3	9	Grupo 1 (rojo)
Libros de historietas	3	7	Grupo 2 (verde)
Comunicación	2	9	Grupo 2 (verde)
Educación	6	14	Grupo 2 (verde)
Novelas gráficas	2	4	Grupo 2 (verde)
Aprendizaje informal	2	5	Grupo 2 (verde)
Divulgación científica	2	4	Grupo 2 (verde)
Cómics científicos	4	15	Grupo 2 (verde)
Actitudes	3	18	Grupo 3 (azul oscuro)
Tiras cómicas	3	2	Grupo 3 (azul oscuro)
Interés por el aprendizaje de las ciencias	2	10	Grupo 3 (azul oscuro)
Conocimientos de nanotecnología	2	10	Grupo 3 (azul oscuro)
Alfabetización	3	10	Grupo 3 (azul oscuro)
Enseñanza de las ciencias	4	12	Grupo 3 (azul oscuro)
Adolescentes	2	10	Grupo 4 (amarillo)
Comprensión	4	23	Grupo 4 (amarillo)
Ilustraciones	5	20	Grupo 4 (amarillo)
Información	3	18	Grupo 4 (amarillo)
Imágenes	2	15	Grupo 4 (amarillo)
Dibujos animados	2	5	Grupo 5 (púrpura)
Humor	3	6	Grupo 5 (púrpura)
Educación médica	2	10	Grupo 5 (púrpura)
Ciencia	12	25	Grupo 5 (púrpura)
Comunicación visual	2	5	Grupo 5 (púrpura)
Arte	2	4	Grupo 6 (azul)
Cómics	10	17	Grupo 6 (azul)
Comunicación científica	6	6	Grupo 6 (azul)
Retórica visual	2	1	Grupo 6 (azul)

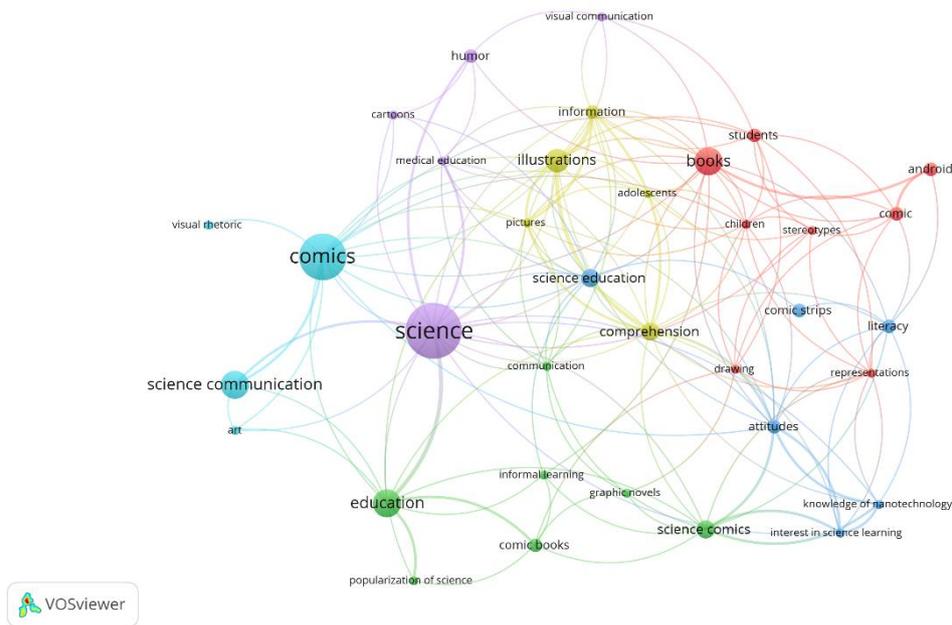


Figura 7. Mapa de red de co-ocurrencia de todas las palabras clave.

Como se aprecia en la tabla y figura presentadas anteriormente, las 35 palabras clave con un umbral mínimo de 2 ocurrencias conforman un mapa de red con hasta 6 clusters diferentes. En el mapa, el tamaño de los nodos, así como el tamaño de las etiquetas, se corresponden proporcionalmente con unos valores mayores o menores de ocurrencias de las palabras clave. Siguiendo el mismo patrón, el grosor de los vínculos entre dos o más palabras clave variará de acuerdo a la mayor o menor fuerza total entre sus enlaces. De este modo, cada nodo representa una palabra clave y a su vez, ésta es interpretada como un tópico importante dentro de nuestra temática general de la divulgación de la ciencias mediante los comics. Así, caben destacar los tópicos *science*, *comics*, *science communication*, *books*, *education* y *illustration* como aquellos que presentan los valores más altos de ocurrencia siendo de 12, 10, 6, 6, 6 y 5, respectivamente. No se encuentran valores de ocurrencia altos o alguna palabra clave que destaque de manera significativa con respecto a algún otro tópico. Sin embargo, resulta interesante observar que no siempre se corresponden los valores más altos de ocurrencia de determinadas palabras clave con que obtengan siempre los mayores valores en la fuerza de sus enlaces. En el caso del tópico *science* sí encontramos este hecho siendo el tópico con mayor valor de ocurrencia (12) y también el que obtiene la mayor fuerza en sus enlaces (25). Sin embargo, el tópico *comics* es el segundo en cuanto a su valor de ocurrencia (10) pero con un valor

en la fuerza de sus enlaces (17) que los sitúa por debajo de otros tópicos que presentan valores más altos como son los casos de *attitudes*, *information*, *illustration*, *comprehension* y el propio *science*. Es precisamente el tópico *comprehension* el que presenta el segundo valor más alto en la fuerza total de sus enlaces (23) a pesar de ser uno de los tópicos con uno de los valores de ocurrencia más bajos (4).

A razón de los enlaces con mayor fuerza se pueden establecer las relaciones entre distintos tópicos que pueden marcar una tendencia temática o líneas de investigación más cadentes que despiertan un mayor interés científico. Así, uno de los más destacados marcaría la tendencial central con los tópicos *education* y *science* como el eje central a partir del cual se desarrollan otros focos de interés o problemáticas específicas. Este sería el caso de los tópicos *science*, *medical education* y *humor* que, junto al de *education*, denota un interés por la ciencia y más concretamente por aspectos relacionados con la educación médica apareciendo el término humor que puede suponer un medio de afrontamiento para determinados estudios o acciones médicas destinadas a pacientes donde una de las herramientas a utilizar sean los comics o los dibujos (*cartoons*) que de hecho conforman el mismo cluster (purple cluster). Otro foco de interés sería el conformado por los tópicos *comics* y *science communication* (blue cluster) como una alternativa a la comunicación científica o divulgación de datos e informaciones usando como fuente de información los comics. Siguiendo esta misma línea, podemos encontrar otro punto de interés muy similar dentro del yellow cluster con los tópicos *information*, *illustration*, *pictures*, *adolescents* y *comprehension*. Estos son la totalidad de los tópicos que conforman el yellow cluster y por la naturaleza de sus términos podríamos hablar de un pequeño frente de investigación más general centrado en la propia difusión de la información valiéndose de dibujos e ilustraciones y dirigido principalmente a un público más joven (*adolescents*) buscando una mayor comprensión y cercanía en todo lo referido al mundo científico. Por último, podría destacarse dentro del red cluster los tópicos *books*, *android* y *comic*. En este caso, habría parte de la investigación centrada en el estudio de los temas científicos con estudiantes, utilizando para ello el comic y los libros mediante dispositivos móviles (*android*) como una manera más atractiva, motivante y diferente de acerca este tipo de contenidos.

### *Thematic map*

A continuación, profundizamos en el análisis de las principales temáticas halladas en nuestro estudio mediante la generación de mapas temáticos a partir de las author' keywords y las keywords plus. Se han generado dos mapas temáticos usando siempre los mismos parámetros de partida, aunque diferenciando los campos, es decir, un mapa a partir de las author's keywords y otro mapa a

partir de las keywords plus. El resto de parámetros corresponden al número de palabras clave consideradas para el análisis que en nuestro caso ha sido la totalidad de las palabras clave que son 239; la frecuencia mínima del cluster por cada mil documentos que se sitúa en 5; y el número de etiquetas por cada cluster o burbuja que se establece en 1, es decir, la correspondiente a la palabra clave con una frecuencia mayor de ocurrencia.

Dentro de cada uno de los mapas se encuentran burbujas que representan un cluster de red y correspondiendo su etiqueta a la palabra clave con un mayor valor de ocurrencia. El tamaño de cada burbuja viene determinado de manera proporcional al número de apariciones de palabras clave que conforman el cluster, así como su ubicación en el mapa viene determinado atendiendo a medidas de densidad y centralidad y las relaciones establecidas con el resto de burbujas o nodos vecinos de manera interna o externa y pudiendo configurar el nivel de importancia de una temática específica dentro de un área de investigación específico (Giannakos et al., 2016), así como el grado de desarrollo de un tema concreto (Cobo et al., 2011).

Para la interpretación de los mapas temáticos seguimos las indicaciones de Cobo et al., (2011; Radu et al., 2021; Zanjirchi et al., 2019) donde los cuatro cuadrantes del eje cartesiano se dividen en cuadrante superior izquierdo para *niche themes* (cuadrante 3); cuadrante inferior izquierdo para *emerging or declining themes* (cuadrante 4); cuadrante superior derecho para *motor themes* (cuadrante 1); y cuadrante inferior derecho para *basic themes* (cuadrante 2).

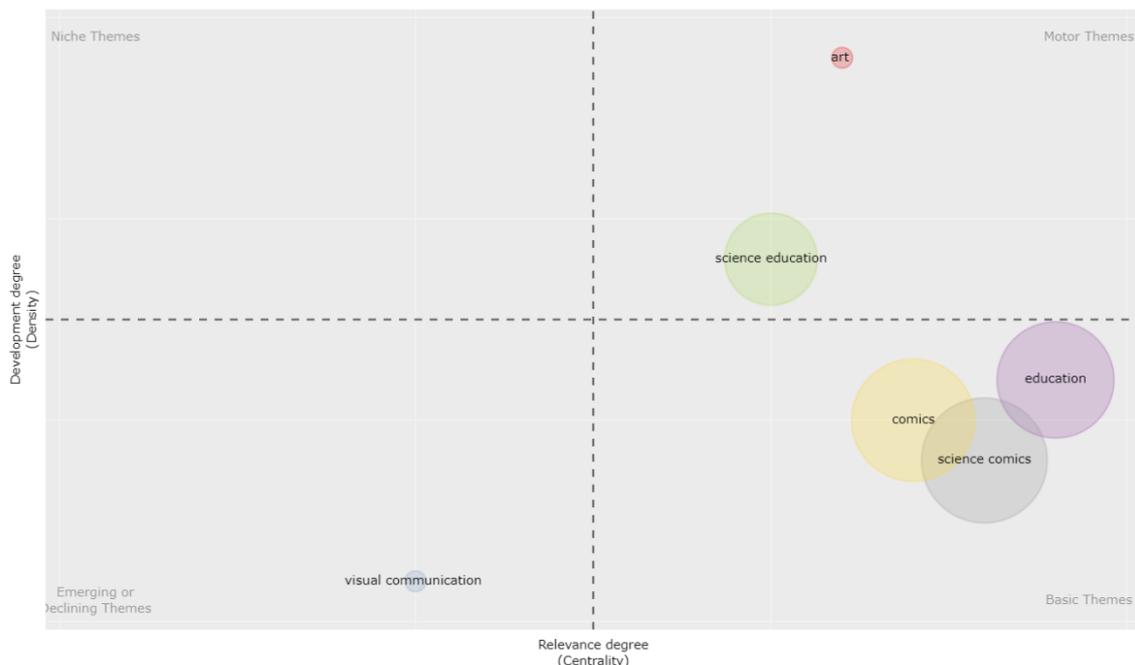


Figura 8. Mapa temático basado en las palabras clave de autor de los documentos.

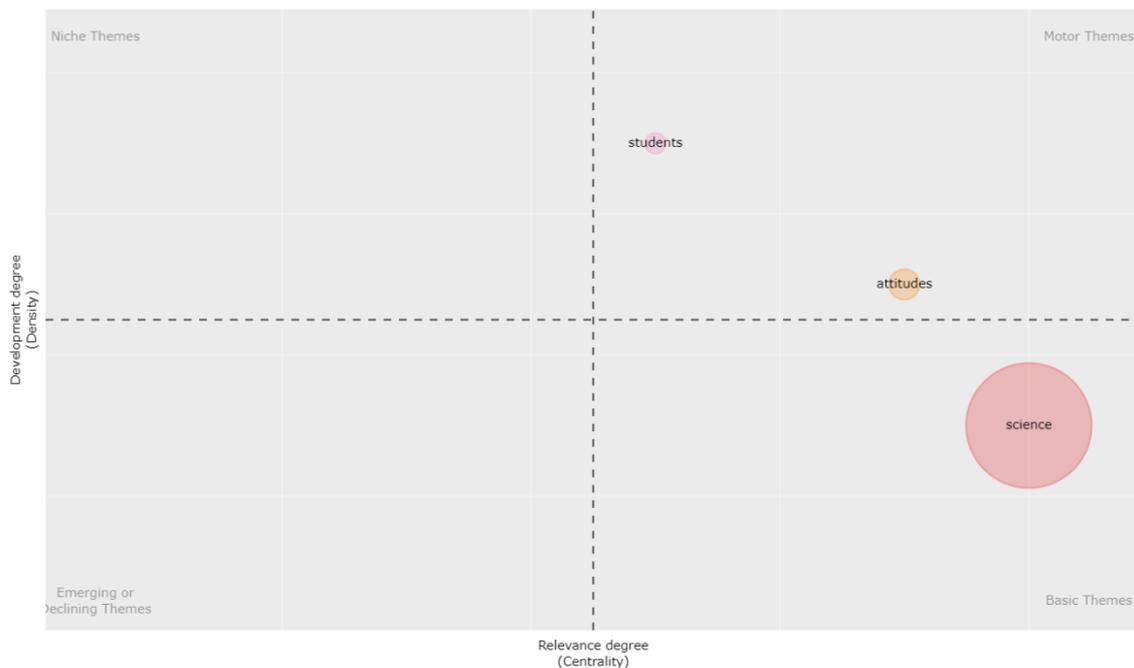


Figura 9. Mapa temático basado en palabras clave más de documentos.

Observando la Figure 8 se aprecia, en primer lugar, que no existen ninguna burbuja que nos indique que haya alguna temática que pueda considerarse como un niche theme, es decir, temas que pueden estar muy desarrollados o, por el contrario, ser temáticas aisladas. Como motor themes hallamos las burbujas de *art* que presenta una densidad nula al estar conformado por un único término que es el que da nombre a la etiqueta; y la burbuja *science education* con no mucha densidad, pero una importante centralidad al contar con una mayor conectividad externa con otras burbujas o nodos vecinos. *Visual communication* sería una burbuja con una muy escasa centralidad y sin ninguna densidad que, sin embargo, se sitúa como una temática emergente todavía muy poco desarrollada pero que puede indicarnos una cierta tendencia futura y mayor peso de la comunicación visual de contenidos científicos donde uno de los medios o herramientas de difusión puedan ser los comics, las ilustraciones, los dibujos o los libros. Por último, como basic themes o temas transversales y universales en torno a este campo de estudio, encontramos la burbuja con mayor densidad de todas como es *science comics* conformada por 7 términos y donde las tres burbujas acaparan una centralidad relevante. En cualquier caso, no se encuentran valores de ocurrencia muy altos, ni grandes diferencias entre unos y otros nodos o palabras clave independientes pues todos los valores de ocurrencia oscilan entre 2 y 10.

En último lugar, la Figure 9 que hace referencia a las keywords plus, observamos de entrada que carece de burbujas en los cuadrantes 3 y 4, es decir, no se hallan niche themes ni emerging or declining themes. Los datos obtenidos a partir de las keywords plus se concentran principalmente en la burbuja *science* como aquella que tiene una alta centralidad y por tanto una gran conectividad externa, así como una alta densidad debido a la mayor conectividad interna entre sus términos. Dentro de este nodo se dan cabida términos propios del manejo de datos e informaciones de ámbito científico (*science, information, communication*) y los medios de divulgación (*books, illustrations, pictures, humor*) y orientando a jóvenes estudiantes (*adolescents*) intentando que su tratamiento sea más cercano, práctico y comprensivo (*comprehension*). Las otras dos burbujas harían referencia a la piedra angular de todo lo relativo dentro de la investigación educativa y que está enfocado hacia la mejora de la calidad con una clara repercusión en los estudiantes (*students*), destacando su baja densidad y relacionado con la otra burbuja de *attitudes* con idéntica baja densidad, pero con mayor centralidad y donde podría destacarse el tópico *literacy* como otro elemento importante como el de la alfabetización en todos estos contenidos y nuevos medios de difusión dentro de la comunidad científica.

#### *Análisis de correspondencias múltiples*

Para el desarrollo del análisis de correspondencias múltiple, previamente y con la ayuda del programa Biblioshiny de RStudio v.4.0.4 (Aria & Cuccurullo, 2017), elegimos a los 20 autores más prolíficos de los 185 que forman parte del estudio. A continuación se han determinado las sources de su publicación (distinguiendo entre journal o scientific event), el continente al que pertenecen, así como la primera keyword-author de su trabajo. Los resultados de la conjugación de tales parámetros están sintetizados en la siguiente figura.



Figura 10. Los 20 autores principales con palabras clave, continente de búsqueda y fuente de publicación de su artículo.

A partir de estos primeros datos hemos implementado, en primer lugar, un three field plot para determinar si existen, o no, correspondencias más o menos claras. Los resultados se muestran a continuación.

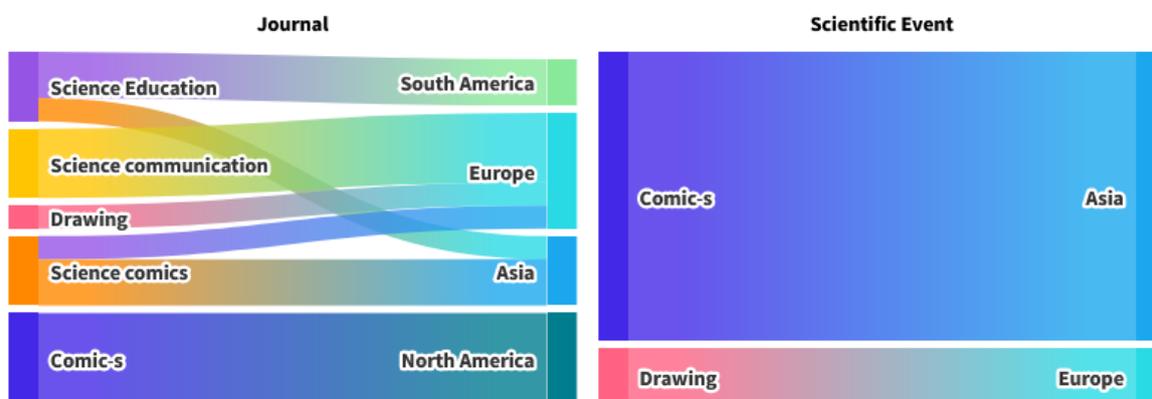


Figura 11. Tres parcelas (fuentes+palabras clave+continentes).

Como puede apreciarse, efectivamente parecen haberse estructurado ciertas correspondencias bien delimitadas. De esta forma, en relación con los autores que han publicado sus trabajos sobre el cómic como recurso de difusión de las ciencias en journals se aprecian claras correspondencias entre la keyword Science con los trabajos pertenecientes a South America y Asia. Por su parte, las keywords Science Communication y Drawing están asociadas a Europe, mientras Science Comics aparece de nuevo asociada a Asia. Por otra parte, en aquellos trabajos publicados en Scientific Events aparecen dos claras correspondencias. La primera es que la keyword Comic-s está asociada a Asia y la segunda es que de nuevo Drawing está asociada a Europe. No obstante, para tratar de confirmar empíricamente todas estas correspondencias hemos implementado un análisis de correspondencias múltiple, cuyos principales resultados ofrecemos a continuación.

Tabla 6. Resumen de modelos del análisis de correspondencias múltiples.

Dimensión	Alfa de Cronbach	Variación contabilizada		
		Total (valor propio)	Inercia	% de Varianza
1	.791	2.114	.705	70.477
2	.704	1.884	.628	62.797
Total		3.998	1.333	
Media	.750*	1.999	.666	66.637

\* El alfa de Cronbach medio se basa en el valor propio medio.

La tabla resumen del modelo es útil para poder caracterizar el peso o importancia de las dos dimensiones inferidas. Para este cometido debemos centrar nuestra atención en los eigenvalues obtenidos, su inercia y su varianza explicada porcentualmente. De esta forma, apreciamos como the dimensión 1 es el más importante ( $\lambda_1=2.114$  asociado a una inercia = .705 y una varianza explicada del 70.47%). Por su parte, the dimensión 2 ha obtenido  $\lambda_2=1.884$  asociado a una inercia = .628 y una varianza explicada del 62.79%. . Por su parte, los valores  $\alpha$  de Cronbach obtenidos sirven para determinar la magnitud de las correlaciones entre las variables empíricas (sources, continents and keyword authors) que componen las variables latentes (dimensions 1 and 2). Para nuestro estudio caso el valor de  $\alpha_1 = .791$ , mientras que  $\alpha_2 = .704$ . En ambos casos existen correlaciones moderadamente alta entre las variables observadas que constituyen las dimensions 1 and 2.

En cuanto a las medidas de discriminación obtenidas para las distintas variables incluidas en el análisis, hemos obtenido resultados significativos recogidos en la Tabla y en la Figura 2, que presentaremos a continuación.

Tabla 7. Medidas de discriminación

	Dimensión		Media
	1	2	
Palabras clave	.830	.931	.881
Fuentes	.519	.034	.277
Continentes	.765	.918	.842
Total activo	2.114	1.884	1.999
% de Varianza	70.477	62.797	66.637

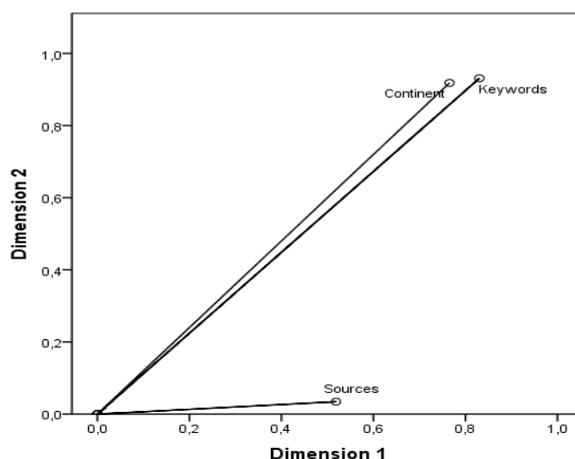


Figura 12. Medidas de discriminación. Variable Principal Normalización.

Como puede observarse, en primer lugar destacamos que la variable sources, al obtener una posición paralela a la dimensión 1 ( $x = .519$ ;  $y = .034$ ), se convierte en un buen elemento discriminante de dicha dimensión, es decir que es capaz de discriminar correspondencias hacia la izquierda y hacia la derecha basadas en la procedencia de los trabajos (journals vs scientific events). Por su parte, las variables relativas a keyword's authors ( $x = .830$ ;  $y = .931$ ) y a los continents ( $x = .765$ ;  $y = .918$ ) alcanzan perfiles bisectoriales respecto al origen equidistantes, tanto para las dimensiones 1, como para 2. Este hecho las configura como variables discriminantes de estas dos dimensiones y, además, al encontrarse más alejadas del origen, poseen mayor poder explicativo.

Por último, mostramos uniendo puntos de categorías: fuentes, palabras clave y continentes aquí se pueden apreciar las diferentes correspondencias obtenidas.

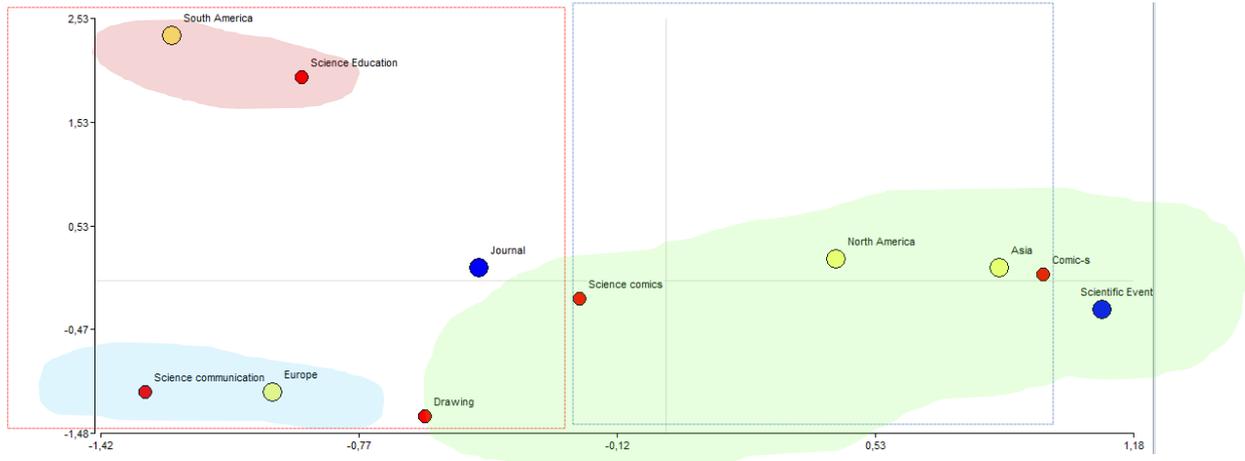


Figura 13. Gráfico conjunto de puntos de categoría: fuentes, palabras clave y continentes.

### 3.1.4. Discusión y conclusiones

El presente estudio ha analizado a partir de distintas variables bibliométricas el estado de la temática en torno a la divulgación de las ciencias a través de los comics dentro de la comunidad científica. Para ello se han tomado las diferentes fuentes de información de los documentos científicos, así como datos propios de los manuscritos en cuestión de la muestra conformada por 60 documentos. Además, se han considerado los países de producción de los manuscritos, así como los índices de colaboración para obtener un acercamiento a la estructura social del tópico estudiado y, por otro lado, se han analizado las dos tipologías de palabras clave que se encuentran en los documentos científicos con el objeto de estudiar su estructura conceptual e inferir principales tendencias temáticas, focos de interés científico y problemáticas específicas.

De los primeros análisis ya pueden extraerse algunas conclusiones generales. En primer lugar, la muestra de artículos científicos recuperada una vez refinada la búsqueda mediante los oportunos filtros y parámetros, ha resultado ser de 60 documentos siendo válido cualquier tipo de documento dentro de la comunidad científica. Esto, para un periodo de tiempo de 10 años es una cantidad relativamente pequeña. A este hecho, y en segundo lugar, se le podría añadir que una parte importante de la difusión y divulgación de trabajos académicos que se desarrollan en torno a esta temática, las fuentes de información son congresos o conferencias que posteriormente son publicados dichos trabajos en sus correspondientes libros de actas (proceedings paper). Es cierto que su impacto en cuanto a citación se refiere, es inferior a aquellos trabajos publicados en revistas científicas en formato de artículo. Todo esto nos puede indicar que nos encontramos ante un tópico de estudio poco relevante y sin madurar dentro del área de la investigación educativa, pero que al menos cuenta con un espacio y unas líneas de investigación meridianamente definidas. Además, dentro del periodo de tiempo estudiado se produjo un crecimiento importante en los años 2018 y 2019 que rompía con la tendencia lineal de crecimiento hasta la fecha. Quizá esto podría a ver supuesto una nueva tendencia y crecimiento de esta temática hacía una mayor consolidación o, al menos, ver ampliado su espacio dentro del campo de la investigación educativa. Sin embargo, esa caída en la producción en el año 2020 hace descartar esa posible tendencia. Como posible consecuencia puede deberse a que en dicho año se produjo la pandemia producida por la Covid-19 y alteró el panorama mundial y científico, influyendo de manera directa y especial en la comunidad científica educativa (Rodríguez-Sabiote et al., 2022) y pudiendo haber esto supuesto un retroceso en el crecimiento de este campo de estudio.

En cuanto a los países de producción de los documentos científicos, así como el índice de colaboración en los mismos, no se halla ningún país como un gran productor en el área, ni tampoco unos importantes niveles de colaboración entre países siendo en la mayoría de los casos colaboraciones ocasionales o esporádicas. Este aspecto se antoja normal a la vista de los datos obtenidos y sitúa a USA como el principal país en cuanto a producción y también como el que más colaboraciones atesora con países de distintos continentes, destacando Europa y Asia. No obstante, cuando lleguemos a las conclusiones de que se derivan del multiple correspondence analysis dedicado al top 20 de autores más prolíficos sí que apreciaremos la presencia de tendencias más claramente definidas.

En cuanto al estudio de la estructura conceptual mediante los análisis de co-ocurrencia y los mapas temáticos, caben destacar los siguientes hallazgos: los tópicos con mayores valores de ocurrencia son: *science*, *comics*, *science communication*, *books*, *education* y *illustration*. A pesar de estos datos, se comprueba que estos tópicos no siempre acaparan los valores de asociación más relevantes con otras palabras clave. En este caso, los tópicos con los valores más altos en la fuerza en sus enlaces son: *science*, *comprehension*, *illustration*, *attitudes*, *information*, *comics*, *books*, *science comics* y *pictures*. A partir de este punto, se han podido establecer diferentes tendencias y problemáticas que han venido estudiando que se han centrado en aspectos más particulares como la educación médica, los comics e ilustraciones como medios alternativos de difusión científica, y el uso de los dispositivos móviles como el principal elemento de las nuevas tecnologías con los que hacer llegar y trabajar este tipo de contenidos e informaciones a la población más joven.

En lo que concierne a los mapas temáticos, y de manera general, la mayoría de los tópicos se encuadrarían dentro de los denominados motor themes y basic themes. Los datos obtenidos por los mapas temáticos siguen una línea que va en consonancia con el mapa de red correspondiente a la Figure 4. Encontraríamos como lo más destacable de los mapas el tópico considerado emerging theme que es el de *visual communication* como el aspecto más innovador y el que podría guiar las futuras líneas de trabajo e investigación en torno a esta temática general.

Finalmente, el multiple correspondence analysis realizado al top 20 de autores más prolíficos sí que ha determinado una serie de correspondencias a tener en cuenta. Así se ha concluido que dichos autores que han publicado en journals y que han elegido como primera keyword de su trabajo la keyword Science Education pertenecen a South America y Asia. Por su parte, los que han elegido sus primeras keywords como Science Communication y Drawing están asociadas a Europe, mientras los de Science Comics aparecen de nuevo asociados a Asia. También se ha concluido que

los trabajos publicados en Scientific Events presentan dos claras correspondencias. La primera que aquellos trabajos que tienen como primera keyword Comic-s están asociados a Asia y de nuevo la keyword Drawing a Europe.

### 3.1.5. Limitaciones del estudio y perspectivas

Uno de los obstáculos o limitaciones que esta investigación ha podido encontrar, así como otros muchos estudios bibliométricos que recuperen su muestra de trabajos científicos de diferentes bases de datos, sería la falta de uniformidad de dichas bases de datos a la hora de indizar las palabras clave y, principalmente, cuando se distingue entre author's keywords y keywords plus. A pesar de refinar las búsquedas lo máximo posible utilizando para ello diferentes técnicas de truncamiento, a la hora de trabajar con todas las palabras clave conjuntamente, aparecen errores por diferencias de signos ortográficos (como los guiones entre términos) o el número de las palabras (singular o plural). Esto produce que se reconozcan palabras clave que son iguales como términos distintos e independientes. Algunos ejemplos que se han podido encontrar en este estudio serían los pares de palabras como science education y science-education; cultural heritage y cultural-heritage o comics y comic, entre otros.

Finalmente, algunas ideas futuras que prosigan o complementen la presente investigación sería la replicabilidad de este estudio ampliando el periodo de tiempo y analizar su posible crecimiento o estancamiento a nivel de producción científica y las fuentes de información más utilizadas para la publicación de los trabajos. Podría tratar de inferirse nuevas tendencias o líneas de investigación en torno a esta temática general, ampliando de esta manera el panorama actual y el mapa de desarrollo científico de acuerdo a los principales intereses o necesidades de sus autores y/o público destinatario.

## 4. Estudio analítico

### 4.1. Límites y potencialidades del análisis del contenido

Además de los estudios de encuesta (survey study), los estudios analíticos y dentro de los mismo el análisis del contenido es la aproximación de abordaje preferida por los investigadores de las ciencias de la comunicación. El análisis del contenido puede ser útil para una variedad de propósitos. En primer lugar se puede utilizar para catalogar las características de ciertos contenidos en uno o más períodos de tiempo. En este caso, el análisis tiene un carácter meramente descriptivo. Se trata de un método de estudio y de análisis de los mensajes de comunicación sistemática, objetiva y cuantitativa, destinado a medir determinadas variables.

"Sistemática": la selección de la muestra debe seguir los procedimientos establecidos y cada elemento debe tener una posibilidad equitativa de ser incluido en la muestra. Además, durante el análisis, todo el contenido en cuestión debe recibir exactamente el mismo trato. Para garantizar que la evaluación también se lleva a cabo de forma sistemática, sólo debe utilizarse una serie de directivas para todo el estudio.

"Objetividad": aunque la objetividad perfecta es inalcanzable, sigue siendo posible tener reglas para la clasificación de las variables lo más explícitas y exhaustivas posible, para permitir a otro investigador, que se encuentre repitiendo el mismo proceso, llegar a las mismas conclusiones. Por tanto, es necesario establecer un conjunto de criterios y procedimientos que expliquen claramente los métodos de muestreo y categorización utilizados.

"Cuantitativo": es decir, el método debe cuantificar el mensaje de manera que permita extraer conclusiones precisas. La cuantificación permite a los investigadores resumir sus resultados y presentarlos de forma resumida. Además, permite utilizar herramientas estadísticas que pueden ser útiles en la interpretación y el análisis. Sin embargo, el simple contar a veces puede no ser suficiente para llegar a ciertas conclusiones.

El análisis del contenido sigue fases muy precisas. Es muy importante seguir un cierto orden para garantizar al análisis la máxima precisión y objetividad. Wimmer y Dominick (1997) enumeran nueve fases de este proceso. (WIMMER Roger - DOMINICK Joseph, Mass media research. An introduction, Wadsworth Publishing Company, Belmont (CA) 1997.)

**1) Formular la hipótesis o la pregunta de búsqueda.** Al igual que con cualquier otra forma de investigación, es necesario tener muy clara una hipótesis o pregunta de investigación, madurada normalmente después de un atento examen de la literatura ya existente sobre el tema. Una hipótesis de investigación bien formulada facilita el desarrollo de categorías de contenido precisas y significativas que a su vez ayudan a producir datos de valor.

**2) Definir la población considerada.** Como segunda fase, el investigador debe establecer los límites del contenido analizado, lo que requiere una definición adecuada de la población afectada. Antes de decidir sobre esta población, hay que determinar el contexto considerando dos dimensiones: el área tópica que se estudiará y el período de tiempo del estudio.

**3) Seleccione una muestra.** Si la búsqueda se centra en una cantidad finita de datos, el contenido se puede medir fácilmente. Sin embargo, en la mayoría de los casos el contenido es demasiado amplio, por lo que hay que seleccionar una muestra. La técnica de muestreo más comúnmente utilizada en el análisis del contenido es la de múltiples niveles. En primer lugar, el investigador elige una serie de fuentes (artículos, carteles presentados en convenciones, libros...) y después selecciona ciertos datos (por ejemplo, aquellos que se refieren a un objetivo determinado o que siguen una metodología determinada). Con esta selección a doble nivel, el investigador puede llegar a tener una cantidad de datos para analizar más fácilmente manejable.

**4) Seleccione la unidad de análisis.** El elemento mínimo de un análisis del contenido, lo que realmente se mide, se llama unidad de análisis. Tal unidad puede ser una sola palabra o un símbolo, un tema o un artículo o una historia. Es más fácil contar ciertas unidades de análisis que otras. Por tanto, es necesario formular de manera clara y precisa las definiciones operativas de la unidad de análisis, así como hacer que los **criterios de inclusión** sean claros y fácilmente observables. El investigador no llega a estos objetivos inmediatamente, sino después de un proceso gradual de 'prueba y error' y de perfeccionamiento.

**5) Construir las categorías de contenido del análisis.** Esta etapa es probablemente la más importante. Las categorías deben ser mutuamente exclusivas, exhaustivas y fiables. Exclusivas: una unidad de análisis sólo puede incluirse en una categoría de contenido. Exhaustiva: cada unidad de análisis debe incluirse en una categoría (en muchos análisis del contenido los investigadores a menudo resuelven el problema de la exhaustividad creando una categoría llamada 'otro' o 'varios'). Fiables: los diferentes codificadores deben estar ampliamente de acuerdo sobre la categoría de contenido más adecuada para cada unidad de análisis.

**6) Establecer un sistema cuantitativo.**

**7) Codificar el contenido.** Los Códigos son variables identificadas en el contexto de las preguntas a las que se pretende responder mediante la recopilación de datos. Al asignar una palabra o frase a una categoría determinada, se crea una lista de códigos. Durante la codificación de las respuestas recogidas, los códigos se pueden modificar para describir mejor los patrones resultantes del análisis.

**8) Analizar los datos.** Las estadísticas descriptivas elaboradas sobre la base de estos códigos tienen por objeto resumir y exponer claramente los datos cualitativos surgidos, sobre todo cuando se buscan tendencias recurrentes. Al igual que las encuestas, el análisis del contenido también requiere un análisis estadístico, cuya tipología depende de los objetivos de la investigación. Normalmente se utiliza el test chi-cuadrado ya que los datos del análisis del contenido tienden a ser nominales. Dado que normalmente se tienen en cuenta grandes cantidades de datos, a menudo se utiliza software especializado como el SPSS (Statistical Package for Social Science).

**9) Interpretar los resultados.** Es en la interpretación de los resultados que un investigador revela toda su creatividad y originalidad. Además de presentar los resultados de su investigación de forma clara y coherente, debe demostrar que añaden algo nuevo y significativo a la literatura existente sobre el tema. Por lo tanto, en esta fase del proceso, el investigador debe volver a su estudio de la literatura y demostrar cómo sus resultados demuestran o desmienten los conocimientos existentes.

Para alcanzar la máxima fiabilidad, el investigador debe formular claramente las definiciones operativas de las categorías de contenido, evitando cualquier ambigüedad. Debe dar a los codificadores algunos ejemplos de unidades de análisis, acompañadas de una breve explicación, para que puedan comprender plenamente los procedimientos.

Además de ser fiable, una búsqueda también debe proponer resultados válidos. La validez define hasta qué punto un instrumento de búsqueda mide bien lo que está destinado a medir. Si la fiabilidad es alta, la toma de muestras se hace correctamente y las categorías de contenido se desarrollan adecuadamente, se puede obtener un estudio válido. Hay que prestar mucha atención a la forma en que se definen las categorías.

## 4.2. Materiales y métodos

El objetivo principal de nuestro análisis narrativo es comprobar si, en la redacción de los artículos científicos examinados, se han tenido debidamente en cuenta los aspectos pedagógicos, narrativos y artísticos que, según la primera fase de nuestra investigación (y también según varios autores relacionados con las áreas literaria y psicológica), serían esenciales para que el cómic sea un medio eficaz y atractivo para los estudiantes.

### 4.2.1. Objetivos del estudio

Los objetivos de la presente investigación son los siguientes:

1. Caracterizar la producción científica indexada en las bases de datos SCOPUS y WoS correspondiente al período 2011-2020 acerca del uso del cómic como recurso didáctico y en torno a una serie de indicadores comunicativos presentes en cada artículo: psicopedagógicos, artísticos y relacionados con el *storytelling* y a su vez dentro de cada uno de ellos emocionales, técnicos y profesionales, así como a sus rasgos distintivos relacionados con el tipo de metodología utilizada, ciencia-s objeto de la experiencia, así como su abordaje interdisciplinar.
2. Comprobar si las diferentes variables que conforman los rasgos distintivos del estudio (la metodología de abordaje del artículo, la-s ciencia-s objeto tratada-s en el artículo, así como si su abordaje es interdisciplinar o no interdisciplinar) influyen en un menor o mayor uso de recursos comunicativos de los cómics utilizados como recursos didácticos en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias.
3. Determinar qué perfiles pueden establecerse teniendo en cuenta sólo aquellas variables que han marcado diferencias estadísticamente significativas, es decir metodologías que abordaje e interdisciplinariedad del estudio con relación al nivel de aspectos comunicativos usados en los cómics utilizados como recursos didácticos en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

### 4.2.2. Proceso de selección de los artículos objeto de análisis

Para la realización del presente trabajo se han seleccionado los estudios realizados durante el decenio 2011-2020 sobre el temática "ciencia y cómics" con el objetivo de proceder a una revisión de la literatura científica existente. Para este objetivo consultamos de forma comparativa las bases de datos WoS y SCOPUS debido a que están consideradas como las de mayor prestigio. La

búsqueda dió 320 estudios resultados en WoS y 522 estudios en SCOPUS. Desafortunadamente, la mayoría de los artículos seleccionados no tenían una relación muy estrecha con la temática abordada. En efecto, el término Science se asocia a menudo a las ciencias sociales, a la educación, aunque no sea científica, y a veces a la lingüística y a la literatura.

Por su parte el término comics se asocia a veces con algo divertido (cómico), y es también un acrónimo utilizado en el campo de la informática y de la oceanografía. Por esta razón el siguiente paso fue seleccionar las categorías relacionadas con los ámbitos de la educación científica, omitiendo las relacionadas con las áreas sociales y humanísticas. Se han seleccionado 17/99 categorías en WoS y 15/25 en SCOPUS. La búsqueda dió esta vez 120 resultados para WoS y 400 para SCOPUS. Por último, se analizaron todos los resúmenes de estos trabajos con el fin de confirmar que el tema tratado estaba estrechamente ligado a la divulgación científica a través de los cómics. Al final, se ha llegado a una selección de 60 trabajos en WoS y 65 en SCOPUS. La mayoría de los trabajos excluidos en la última fase se referían a las ciencias de la ingeniería (plataformas de agregación para artistas, apoyo en la creación de comics digitales, categorización de personajes, extracción de palabras de los balloons, análisis de gráficos...) y las ciencias sociales (educación en general, lenguaje, violencia, ciencias políticas, series de televisión, filosofía, género, diversidad, cultura, justicia, ciencia ficción). En SCOPUS, en particular, la tercera fase fue más difícil debido al hecho de que cada categoría en SCOPUS incluía más categorías en WoS.

Para ello, en el caso de SCOPUS fue necesario analizar un número muy importante de resúmenes. Nuestro interés se ha centrado, en una investigación cualitativa. El análisis de los datos se basa en principios interpretativos que consideran la multidimensionalidad de los objetos de investigación (Semeraro, 2011). Inicialmente los textos seleccionados se han analizado mediante una segmentación analítica del contenido, siguiendo un enfoque inductivo. Eso consiste en identificar en los textos diferentes unidades analíticas (palabras, frases, afirmaciones o apartados enteros) de las que extraer los núcleos de significado: los códigos. Por lo tanto, ha sido necesario encontrar posibles tipos de relación entre los códigos creados, considerando que las fases del proceso de codificación dan lugar a continuas modificaciones: en efecto, la construcción de códigos se redefine varias veces hasta que se descubran los múltiples núcleos de significado que se desprenden de los textos examinados (Thomas, 2006).

Los archivos, primero organizados en dos carpetas diferentes, una para WoS (60 archivos) y otra para SCOPUS (65), se han fusionado a una sola carpeta para identificar los trabajos presentes en ambos subgrupos y eliminar las duplicaciones. De esta manera, cada trabajo se ha considerado una sola vez. Después de este primer corte, se pasó de 125 archivos a 97. Los trabajos fueron leídos y analizados por primera vez con el fin de identificar los códigos o las palabras clave necesarias para

un análisis del contenido. La primera lectura sirvió también para tamizar aún más la muestra de trabajos considerados. De las 97 iniciales, se han eliminado 33 (12 en lenguas extranjeras distintas del inglés -portugués, turco, rumano, francés-; 2 artículos de periódico; 3 presentaciones de libros o de novelas gráficas; 16 no tienen licencia para acceder al contenido completo). En conclusión, el análisis de narrativo se implementó para un total de 64 trabajos. Todo este proceso de selección queda reflejado en el siguiente diagrama de flujo bajo la estrategia PRISMA. A pesar de no tratarse de una investigación que pueda incardinarse como una revisión sistemática o un meta-análisis hemos creído conveniente la utilización de la estrategia Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) en una versión más actualizada (Page et al., 2021) para describir el proceso de muestreo utilizado.

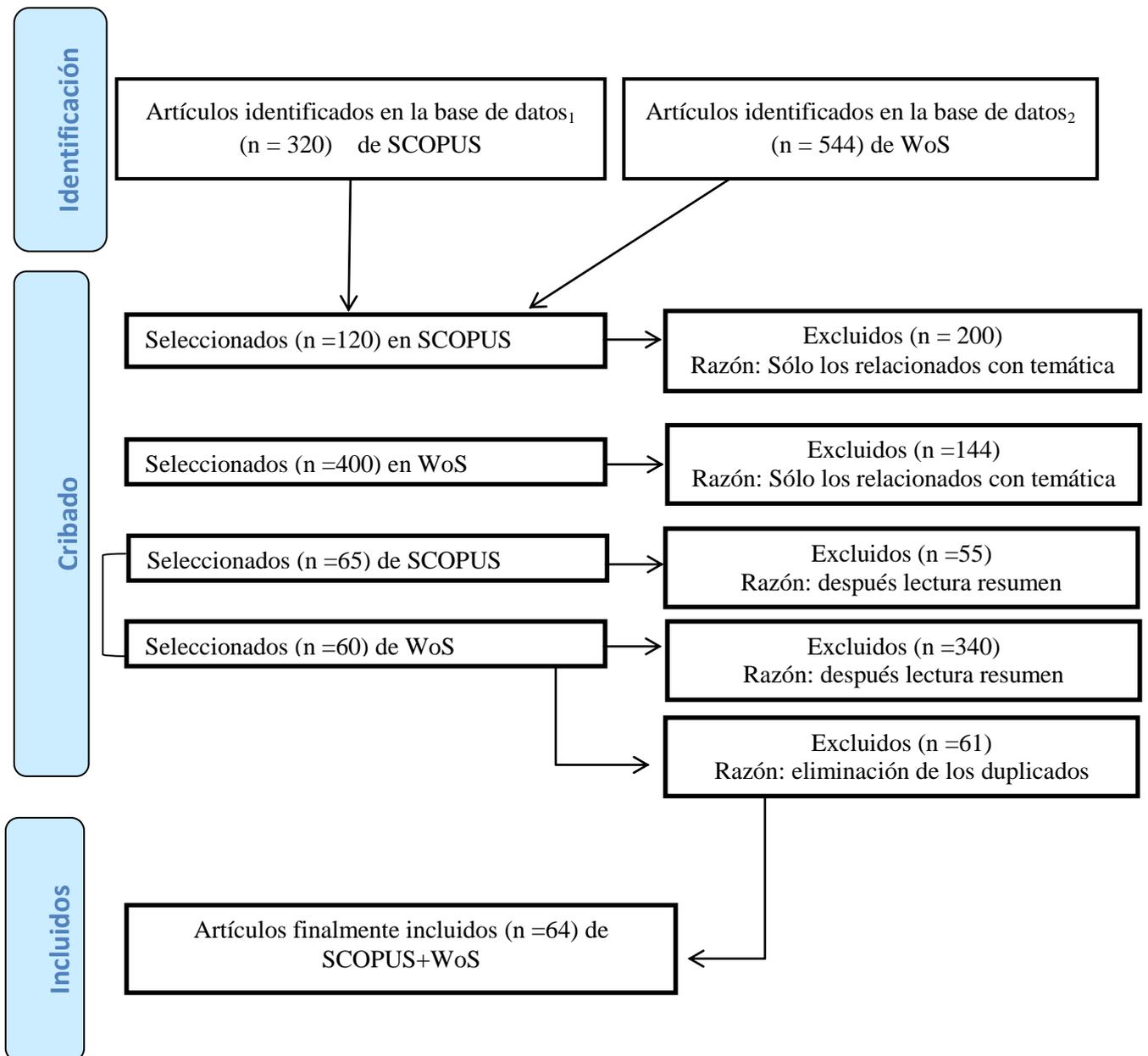


Figura 14. Diagrama de flujo PRISMA para el estudio analítico implementado. Adaptado de Page et al. (2021).

### 4.2.3. Variables consideradas en el estudio

En primer lugar, consideramos tres aspectos relativos a los rasgos distintivos de los artículos seleccionados, a saber: a) la metodología de abordaje del artículo; b) la-s ciencia-s objeto tratada-s en cada artículo y si c) su abordaje es interdisciplinar o no.

A este respecto consideramos:

a<sub>1</sub>) Metodología experimental aquel diseño experimental en el que el-los-la-s investigadores-as manipulan una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas (Campbell & Stanley, 2012).

a<sub>2</sub>) Metodología no experimental o diseño *ex post facto*, es aquel donde se hacen inferencias sobre la relaciones, sin intervención directa, a partir de la variación común de las variables independientes y dependientes (Hoy & Adams, 2015).

b) Ciencias objeto de los artículos: Biología; Tierra y Atmósfera; Salud; Física; Ingeniería; Informática; Medio Ambiente y Agronomía; Astronomía; Química; Varias a la vez.

c) Interdisciplinariedad del artículo:

c<sub>1</sub>) Posee interdisciplinariedad, es decir, que trabajan docentes de diferentes ciencias más profesionales del comic.

c<sub>2</sub>) No posee interdisciplinariedad, o sea, sólo trabajan docentes de diferentes ciencias, pero no profesionales del cómic.

En segundo lugar, nos centramos en los aspectos comunicativos del trabajo. En este sentido, el análisis narrativo a que han sido sometidos los 64 artículos objeto de estudio han arrojado tres aspectos relevantes que hemos identificado como psicopedagógicos, artísticos y narrativos (categorías primarias). Posteriormente se ha procedido a clasificar cada uno de estos aspectos en tres subgrupos o categorías secundarias, según se haya hecho hincapié en el aspecto emocional o la participación de expertos (aspectos técnico y profesional). El resultado queda explicitado en la siguiente tabla.

Tabla 8. Sistema de categorías primarias y secundarias inducidas en el análisis narrativo.

<b>Aspectos artísticos (del cómic)</b>	<b>Aspectos psicopedagógicos (del cómic)</b>	<b>Storytelling (narrativa del cómic)</b>
<b>Aspectos emocionales:</b> compromiso, emocionalización, respuesta emocional, forma accesible... <b>Aspectos técnicos:</b> estilo, técnicas, globos de diálogo o bocadillos, formas mediáticas, ejemplos, paneles de transición, etapas, simplificación de personajes... <b>Aspectos profesionales:</b> artista gráfico, investigadores, ilustrador de cómics, Jay Hosler, artista profesional, por editores...	<b>Aspectos emocionales:</b> compromiso, implicación, interés, motivación, atracción, facilitación, empatía... <b>Aspectos técnicos:</b> retroalimentación, objetivo, educación, poder, red, problemas, prejuicios, enfoque, validación, estrategia, aspecto cognitivo, accesibilidad... <b>Aspectos profesionales:</b> enseñanza, orientación, formación, asistencia, ayuda, mejora, facilitador...	<b>Aspectos emocionales:</b> potencial para, facilitar el aprendizaje, trasfondo común, enganchar, contagio emocional... <b>Aspectos técnicos:</b> estructura, historia explicada, criterios, storyboard narrativo, guión, storyline, metáfora, calidad, etapas, muchos elementos, mecanismo... <b>Aspectos profesionales:</b> expertos, guionistas, artistas, autores...

Por último, los resultados de la análisis se integraron siguiendo la idea de Rossman y Wilson (1985) por la cual los números y las palabras pueden ser utilizados juntos de diferentes maneras para producir un análisis de los fenómenos complejos más rico y profundo que si cada uno de los dos análisis permaneciera independiente de la otra.

### 3.2.4. La hoja de cálculo

Los códigos en tabla se han introducido en una hoja de trabajo Excel con el fin de relacionarlos con otras variables que se han podido encontrar a partir de la lectura de los trabajos. Las variables en cuestión son:

#### - el tipo de investigación

Por ejemplo, en cada trabajo se pudo determinar si se trataba de una investigación exploratoria (cognitiva) o descriptiva (experimental). El objetivo de la investigación cognitiva es profundizar y analizar un conocimiento concreto mediante material bibliográfico. En cambio, la investigación experimental se lleva a cabo mediante la realización de experimentos destinados a verificar la hipótesis del investigador. Entre las investigaciones descriptivas, distinguimos los estudios experimentales (con datos estadísticos sobre los resultados) de los proyectos (sin datos sobre los

resultados). La distinción en estos tres tipos de investigación es esencial para subrayar tanto sus características comunes como sus diferencias.

#### - **País en el que se ha realizado la investigación**

Es útil para comprender qué países están a la vanguardia en la realización de estudios experimentales que tengan en cuenta los aspectos considerados importantes en las investigaciones exploratorias.

#### - **El enfoque multidisciplinar o no**

Es interesante comprender cómo el enfoque de la enseñanza de las ciencias a través del cómic puede depender del equipo de personas que participan no sólo en el experimento, sino también en la investigación. En la columna sólo se pueden indicar dos respuestas: sí y no. El "sí" indica o que los departamentos implicados se refieren a otras disciplinas además de las científicas, en particular a las de la comunicación (narrativa o visual) o de la educación.

#### - **El target**

Es importante comprender si existen similitudes y diferencias entre el enfoque que se aplica a los jóvenes o a los adultos, al público en general o a los estudiantes. Y si las posibles diferencias realmente sólo dependen de la diferencia de edad en el objetivo o la diferencia de enfoque entre la universidad, la escuela o las instalaciones privadas. ¿Se pueden hacer conjeturas?

#### - **Aspectos comunicativos**

Como conclusión de la primera fase de nuestra investigación, hemos identificado algunos aspectos que, en opinión de los expertos (y a juzgar por el éxito de Arquímedes), deberían tenerse en cuenta en la redacción de un cómic científico eficaz: hablemos de los aspectos pedagógicos, artístico y narrativo. Además, se han identificado tres subcategorías para cada uno de ellos. El objetivo es comprender si, en los trabajos en los que se han considerado tales aspectos, se ha hecho más hincapié en la participación emocional de los estudiantes, en las técnicas específicas utilizadas en la realización de los cómics, o en la participación de expertos en los tres sectores.

#### 4.2.4. Criterios de inclusión

Los códigos identificados se refieren principalmente a tres aspectos en los que queríamos centrar nuestra atención: aspectos psicopedagógicos, artísticos y relacionados con el storytelling.

Como se ha mencionado en el apartado "Metodología", para aclarar de dónde se han extraído las palabras clave, ofrecemos breves pasajes de los textos considerados. Al final de cada paso hay un número entre paréntesis. El mismo número se muestra en la primera columna del archivo excel utilizado para el análisis, de modo que quede clara la correspondencia entre las variables "aspectos psicopedagógicos", "aspectos artísticos", "aspectos narrativos" y los trabajos a los que se refieren.

-

## 4.3. Análisis de datos y resultados

### 4.3.1. Para responder al objetivo de investigación nº1

En primer lugar, presentamos los resultados a nivel descriptivo (frecuencias y porcentajes) acerca de las variables ciencia-s objeto de la experiencia, metodología de abordaje e interdisciplinariedad. Así, en relación a las ciencias abordadas, la mayoría de los artículos (19) que representan un 29.7% tratan varias ciencias a la vez. Un segundo grupo de moderada incidencia estaría conformado por Ciencias de la Salud (12 artículos o 18.8%), Biología (11 artículos o 17.2%) y Física (10 artículos o 15.6%). Finalmente, encontramos un tercer grupo de menor incidencia conformado por Ciencias del Medio ambiente y Agricultura (5 artículos o 7.8%), Ingeniería (2 artículos o 3.1%), Informática (2 artículos o 3.1%), Química (1 artículo o 1.6%), Ciencias de la Tierra y de la Atmósfera (1 artículo o 1.6%) y Astronomía (1 artículo o 1.6%).

En cuanto al abordaje interdisciplinar claramente la mayoría de los artículos no se han abordado de forma interdisciplinar (52 artículos o 81.3%), frente a los 12 (18.8%) restantes artículos que sí que han sido abordados de forma interdisciplinar. En relación con la metodología utilizada en los artículos los resultados han sido muy equilibrados, de tal forma que 31 (48.4%) de ellos han utilizado un diseño experimental, frente a los 33 restantes (51.6%) que no lo han hecho.

En segundo lugar, presentamos los resultados relativos a los aspectos comunicativos. A este respecto estos han sido los resultados obtenidos.

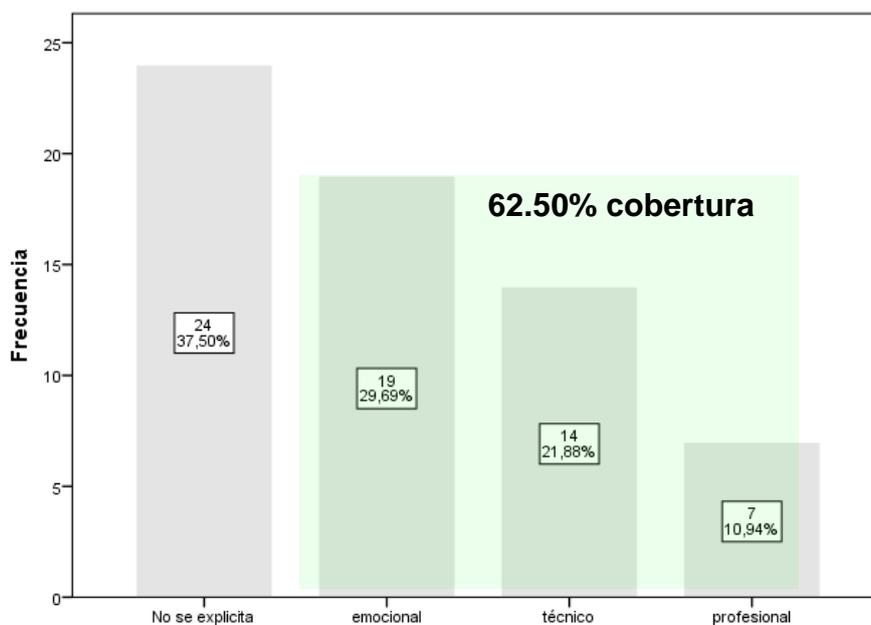


Gráfico 1. Cobertura frecuencial y porcentual de los aspectos comunicativos de naturaleza psicopedagógica y su desglose en categorías secundarias.

Como puede apreciarse de los 64 artículos en 24 (37.50%) de ellos no se han incluido aspectos comunicativos de naturaleza psicopedagógica, frente 40 (62.50%) que sí los han incluido. De estos 40 artículos marcados en sombreado en el gráfico, 19 (29,69%) hacen referencia a aspectos emocionales, los de mayor importancia, con 14 (21,88%) a aspectos técnicos (incidencia moderada) y 7 (10.94%) a aspectos profesionales, lo de menor incidencia.

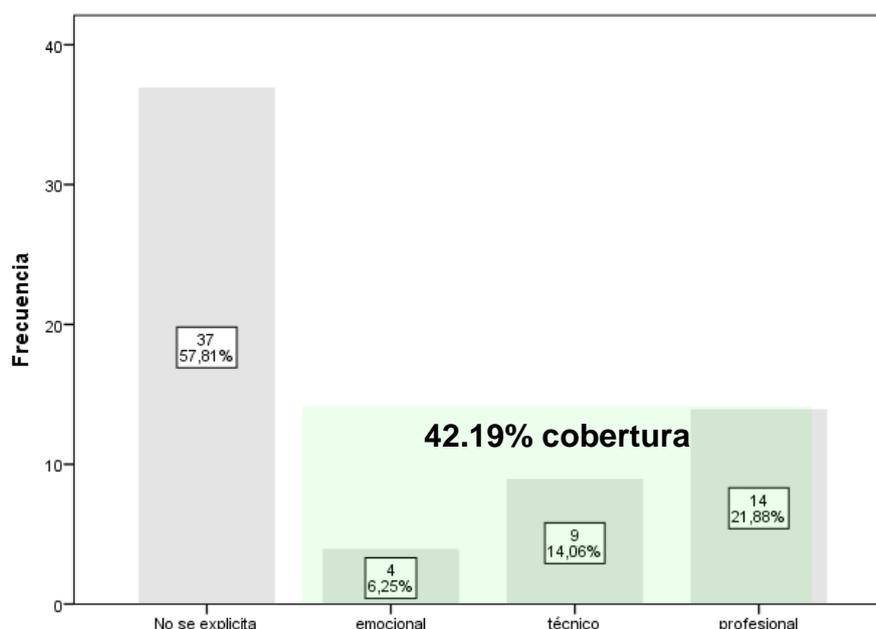


Gráfico 2. Incidencia frecuencial y porcentual de los aspectos comunicativos de naturaleza artística y su desglose en categorías secundarias.

En el caso de los aspectos comunicativos de naturaleza artística apreciamos una menor presencia. Así, de los 64 artículos en 37 (57.81%) de los mismos no se han incluido aspectos comunicativos artísticos, frente 27 (42.19% cobertura) que sí los han incluido. De estos 27 artículos reseñados en sombreado en el gráfico, 4 (6.25%) hacen referencia a aspectos emocionales (los de menor importancia), 9 (14.06%) a aspectos técnicos (importancia moderada) y 14 (21.88%) a aspectos profesionales (mayor importancia).

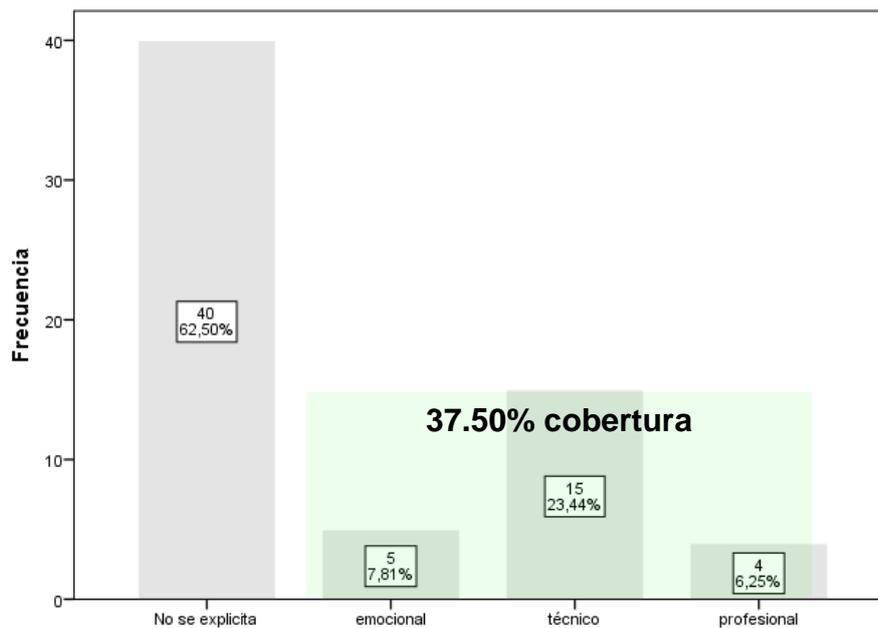


Gráfico 3. Incidencia frecuencial y porcentual de los aspectos comunicativos narrativos (*storytelling*) y su desglose en categorías secundarias.

Finalmente, apreciamos como son los aspectos narrativos (*storytelling*) los que menor importancia han obtenido a la hora de ser incluidos en los cómics didácticos. Así, de los 64 artículos en 40 (62.50%) de los mismos no se han incluido aspectos comunicativos de esta naturaleza, frente a 24 (37.50% cobertura) que sí los han incluido. De estos 27 artículos reseñados en sombreado en el gráfico y con una incidencia similar encontramos, 4 (6.25%) que hacen referencia a aspectos profesionales y 5 (7.81%) a aspectos a aspectos emocionales. Por el contrario, son los aspectos técnicos con una frecuencia de 15 (23.44%) los de mayor importancia dentro de los aspectos primarios relacionados con el *storytelling*.

Sin menoscabo de lo hasta ahora desarrollado presentamos, adicionalmente, un resumen de la incidencia lograda, tanto por los aspectos comunicativos primarios, como secundarios. Para ello hemos tenido en cuenta que:

- a) 0 inclusiones = ausente.
- b) Al menos se incluye 1 indicador de 3 posibles= baja cobertura.
- c) Se incluyen 2 indicadores de 3 posibles = moderada cobertura.
- d) Se incluyen 3 indicadores de 3 posibles = alta cobertura .

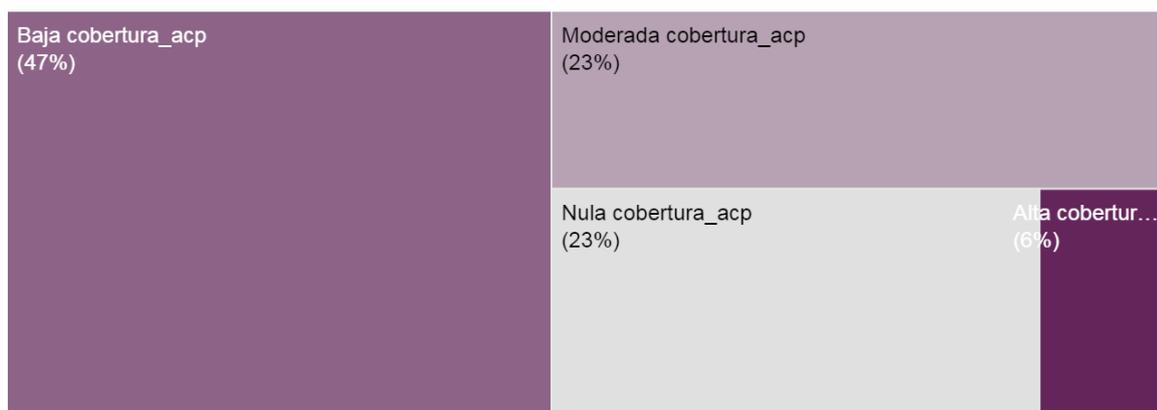


Figura 15. Mapa de árbol correspondiente a la cobertura porcentual de los aspectos comunicativos primarios incluidos en los artículos evaluados.

El primer aspecto a destacar es que el 23% de los artículos evaluados no incluyen aspectos comunicativos. Ello junto al 47% que incluyen baja cobertura (1 solo aspecto), en total un 70%, nos da una idea de la escasa importancia concedida a los aspectos comunicativos primarios en los cómics presentados como estrategias de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Sólo el 23% de los mismos han presentado moderada cobertura (2 aspectos) y el 7%, si redondeamos, (los 3 aspectos comunicativos primarios contemplados).



Figura 16. Mapa de árbol correspondiente a la cobertura porcentual de los aspectos comunicativos secundarios incluidos en los artículos evaluados.

En el caso de los aspectos comunicativos secundarios la cobertura porcentual es algo mejor que la correspondiente a los primarios. Como anteriormente a destacar que el 23% de los artículos evaluados no incluyen aspectos comunicativos secundarios. Unido esto apreciamos que el 41% incluyen baja cobertura (1 solo aspecto), en total un 64%; un balance final parecido al logrado por los aspectos comunicativos primarios. Sólo el 12% (si redondeamos) de los mismos han presentado moderada cobertura (2 aspectos) y el 25% (los 3 aspectos comunicativos secundarios contemplados).

#### 4.3.2. Para responder al objetivo de investigación nº2

Para responder a este segundo objetivo de investigación hemos implementado diferentes tablas de contingencia asociados al estadístico chi cuadrado de Pearson para la comparación de las diferentes variables dado su naturaleza nominal. En primer lugar presentamos los resultados relativos a los aspectos comunicativos primarios para pasar después a mostrar los relativos a los aspectos comunicativos secundarios.

Tabla 9. Comparaciones entre los rasgos distintivos de cada artículo *versus* niveles de cobertura de los aspectos comunicativos primarios (psicopedagógicos, artísticos y narrativos).

Comparaciones	Chi cuadrado Pearson	gl	p (bil)
Interdisciplinariedad <i>vs</i> niveles cobertura aspectos comunicativos primarios	8.97	3	.030*
Ciencia-s <i>vs</i> niveles cobertura aspectos comunicativos primarios	21.77	27	.750
Metodología <i>vs</i> niveles cobertura aspectos comunicativos primarios	4.65	1	.001***

\*p<.05; \*\*p<.01; \*\*\*p<.001.

Como se muestra en la tabla inmediatamente anterior de los 3 cruces implementados 2 han resultado estadísticamente significativos. El primero está referido a la Interdisciplinariedad *vs* niveles cobertura aspectos comunicativos primarios ( $\chi^2=8.97$ ,  $p<.05$ ). En tal sentido, debemos indicar que los artículos elaborados por docentes de diferentes ciencias + profesionales del cómic (12 de 64) están asociados a una mayor presencia de indicadores comunicativos primarios, frente a los artículos elaborados sólo por docentes (no interdisciplinares) que son la mayoría (52 artículos de 64) y que están asociados mayoritariamente a la ausencia o baja presencia de aspectos comunicativos primarios. El segundo está relacionado con el tipo de metodología de abordaje del artículo elaborado *vs* niveles cobertura aspectos comunicativos primarios ( $\chi^2=4.65$ ,  $p<.01$ ). De este modo podemos afirmar que los artículos que han utilizado metodologías experimentales están asociados a nulos o bajos niveles de cobertura de aspectos comunicativos primarios, exactamente un total de 25 artículos de 31 posibles. Por el contrario, 13 artículos de 33 posibles que han utilizado metodologías no experimentales están asociados a moderados y altos niveles de cobertura de aspectos comunicativos primarios.

Tabla 10. Comparaciones entre los rasgos distintivos de cada artículo *versus* niveles de cobertura de los aspectos comunicativos secundarios (emocionales, técnicos y profesionales).

Comparaciones	Chi cuadrado Pearson	gl	p (bil)
Interdisciplinariedad <i>vs</i> niveles cobertura aspectos comunicativos secundarios	7.79	3	0.04*
Ciencia-s <i>vs</i> niveles cobertura aspectos comunicativos secundarios	21.45	27	.764
Metodología <i>vs</i> niveles cobertura aspectos comunicativos secundarios	8.34	3	0.03*

\*p<.05; \*\*p<.01; \*\*\*p<.001.

Como puede apreciarse en la tabla inmediatamente anterior de los 3 cruces implementados 2 han resultado estadísticamente significativos, el referido a la interdisciplinariedad ( $\chi^2=7.79$ ,  $p<.05$ ) y el de las metodologías vs niveles cobertura aspectos comunicativos secundarios ( $\chi^2=8.34$ ,  $p<.05$ ). De este modo debemos destacar que los artículos abordados de forma no interdisciplinar están asociados a nulos o bajo niveles de cobertura de aspectos comunicativos secundarios, exactamente 35 artículos de 52 posibles, mientras el resto (17 artículos) están asociados a moderados y altos niveles de cobertura de aspectos comunicativos secundarios.

Por su parte los artículos abordados mediante metodologías experimentales, como ocurría en el caso de los aspectos comunicativos primarios, están asociados también a nulos o bajos niveles de cobertura de aspectos comunicativos secundarios, exactamente un total de 24 artículos de 31 posibles. Por el contrario, 16 artículos de 33 posibles que han utilizado metodologías no experimentales están asociados a moderados y altos niveles de cobertura de aspectos comunicativos secundarios.

Teniendo en cuenta la presencia de algunas variables que sí han resultado estadísticamente significativas en los cruces hemos considerado oportuno el desarrollo de sendos análisis de correspondencias múltiples para tratar de establecer perfiles de asociación.

#### **4.3.3. Para responder al objetivo de investigación nº3**

Para el desarrollo de este tercer objetivo, y como hemos aclarado en el apartado anterior, hemos implementado sendos análisis de correspondencias múltiples. Este procedimiento es una técnica de análisis multivariante de interdependencia que permite resumir y profundizar en la información que aportan una serie de variables cualitativas (más de 2) acerca de un conjunto de objetos de análisis (en nuestro caso artículos científicos). Aparte de toda una serie de estadísticos e índices asociados a este tipo de técnica, lo más destacado son los mapas de correspondencias asociados a la misma. A este respecto, los mapas de correspondencia obtenidos son los siguientes.

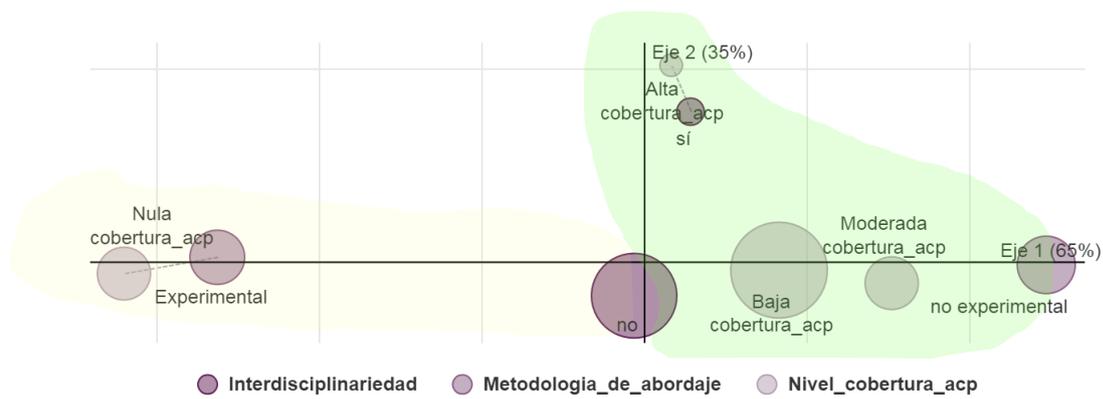


Figura 17. Mapa de correspondencias correspondiente al análisis de correspondencias múltiples entre las variables interdisciplinariedad, metodología de abordaje y nivel de cobertura de los aspectos comunicativos primarios.

En el primer mapa de correspondencias debemos destacar que se proyecta el 100% de la información analizada, dividida en 65% horizontalmente (eje 1), el de mayor poder explicativo y 35% verticalmente (eje 2), el de menor poder explicativo. Como puede apreciarse la proximidad o lejanía de los niveles de cada una de las variables de análisis indica las correspondencias sobre o infrarrepresentadas. A este respecto apreciamos la formación de dos claras correspondencias. Por una parte, a la izquierda del mapa de correspondencias (izquierda del punto 0 del eje vertical 2) encontramos que los artículos que han sido abordados de forma no interdisciplinar están asociados a metodologías experimentales y una nula cobertura de aspectos comunicativos primarios. Por otra parte, apreciamos a la derecha de dicho mapa que los artículos abordados de forma disciplinar están asociados a metodologías no experimentales y a una cobertura moderada, y en menor medida alta y bajas coberturas de aspectos comunicativos primarios.

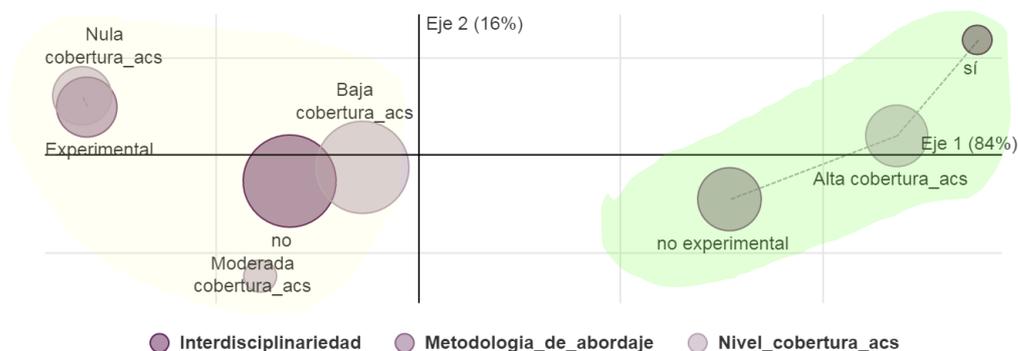


Figura 18. Mapa de correspondencias correspondiente al análisis de correspondencias múltiples entre las variables interdisciplinariedad, metodología de abordaje y nivel de cobertura de los aspectos comunicativos secundarios.

En el segundo mapa de correspondencias destacamos que se proyecta el 100% de la información analizada, dividida en 84% horizontalmente (eje 1) (mayor poder explicativo) y 16% verticalmente (eje 2) (menor poder explicativo). Como ha ocurrido en el caso anterior apreciamos la formación de dos claras correspondencias. Por una parte, a la izquierda del mapa de correspondencias (izquierda del punto 0 del eje vertical 2) observamos que los artículos que han sido abordados de forma no interdisciplinar están asociados a metodologías experimentales y a una nula o baja y, en menor medida, una moderada cobertura de aspectos comunicativos secundarios. Por otro lado, constatamos a la derecha de dicho mapa que los artículos abordados de forma disciplinar están asociados a metodologías no experimentales y a una alta cobertura de aspectos comunicativos secundarios.

#### 4.4. Conclusiones e implicaciones del estudio

Los resultados logrados apuntan que los artículos donde se presentan los cómics como estrategias didácticas de enseñanza-aprendizaje de las ciencias presentan una mayor presencia de aspectos comunicativos primarios de naturaleza psicopedagógica y, en menor medida, artísticos y aún menos de carácter narrativo. Por lo que respecta a los aspectos comunicativos secundarios los de tipo emocional son los de mayor incidencia dentro de los psicopedagógicos, los profesionales dentro de los artísticos y los técnicos dentro de los narrativos (storytelling).

Por otra parte, es importante destacar que de los tres rasgos distintivos de los artículos contemplados, a saber, interdisciplinariedad, metodología de abordaje y ciencia-s tratada-s, son los dos primeros los que parecen influir en la mayor o menor cobertura de aspectos comunicativos primarios y secundarios. En este sentido, se ha concluido que los artículos abordados de forma no interdisciplinar mediante metodologías experimentales están asociados a niveles nulos y bajos de cobertura de aspectos comunicativos primarios y secundarios. Por el contrario, los artículos abordados mediante una estrategia disciplinar a través de metodologías no experimentales están asociados a niveles moderados y altos de cobertura de aspectos comunicativos primarios y secundarios.

La razón de esta diferencia hay que buscarla en el hecho de que la investigación no experimental, a menudo de carácter multidisciplinar, hace hincapié en la presencia de elementos comunicativos narrativos y artísticos dentro de los propios cómics, independientemente del mensaje que el medio quiera transmitir. Las investigaciones realizadas mediante experimentos en el aula, por el contrario, parecen prescindir de la mayoría de estos aspectos comunicativos, salvo los de carácter psicopedagógico. Personalmente, creo que esta discrepancia entre los trabajos de tipo recopilatorio y los de carácter experimental está vinculada al hecho de que, a menudo, quien produce los cómics que se administran a las clases es un profesor (Farinella, 2018), que tiende, por la propia naturaleza de su trabajo, a trabajar de forma autónoma. Además, dado que su formación es pedagógica, es más que plausible encontrar elementos vinculados a la pedagogía y al aspecto emocional en los cómics de ciencia que produce para sus alumnos.

#### 4.5. Limitaciones del estudio

En la actualidad (como se desprende del análisis narrativo) no es posible comparar los estudios experimentales que tienen en cuenta los aspectos artísticos y narrativos con los que no lo hacen. Esto se debe a que, por el momento, la producción utilizada en los experimentos en el aula apenas tiene en cuenta estos aspectos (que, en cambio, se enfatizan en las investigaciones de tipo recopilatorio). Sería interesante, más adelante, investigar si los resultados de los experimentos en el aula mejorarían o no si se avanzara en la dirección de utilizar los aspectos comunicativos vinculados al arte o a la narración. En la actualidad, la escasa producción de trabajos relacionados con la divulgación científica a través del cómic no nos permite especular sobre el futuro, sin embargo en los últimos años, parece que el uso del cómic en el campo de la divulgación está creciendo, también en lo que se refiere a colaboraciones (artistas que trabajan con científicos, profesores con dibujantes...). Muchos de estos productos ocupan ya las estanterías de las mayores cadenas de librerías, y nuestro más sincero deseo es que finalmente la colaboración entre expertos en las diversas ramas de la educación, la producción artística y la comunicación pueda explotar el potencial de este interesante medio de divulgación.

## 5. Conclusiones finales

Los objetivos de nuestro trabajo fueron obtener una visión completa y profunda sobre el tema del cómic como recurso didáctico en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, integrando datos procedentes desde tres perspectivas diferentes: un análisis bibliométrico, uno de contenido y una revisión razonada del cómic de Arquímedes. Ya hemos tratado ampliamente las conclusiones de cada uno de los distintos análisis al final de los apartados correspondientes. Por lo tanto, en esta última etapa dedicada a las conclusiones generales, sólo tenderemos a recordar los aspectos principales, a fin de utilizarlos como punto de partida para un discurso orgánico, teniendo en cuenta los tres tipos de investigación realizados.

Recordemos que **para el estudio de corte bibliométrico** el principal objetivo ha sido determinar qué frentes de investigación se han desarrollado en el esta última década de 2011-2020 sobre el tópicó cómic como herramienta didáctica en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias a partir de las bases de datos WoS y SCOPUS.

**Para el estudio de contenido** contemplamos, a partir de la lectura y análisis de los trabajos utilizados para el estudio cuantitativo bibliométrico, determinar qué metodologías resultan más eficaces y por qué; qué papel juegan el contexto y la edad de los estudiantes; cuáles son los elementos que influyen de manera positiva o negativa en la validez o no de las metodologías de enseñanza que utilizan comics científicos.

**Para la revisión del guión de Arquímedes** el objetivo ha sido identificar las características que un buen cómic científico debe tener para ser apreciado y por lo tanto funcional para el aprendizaje. Con este fin, hemos decidido ampliar la bibliografía al ámbito más general de la difusión científica de cómics, para comprender si existen tipos de indicadores que pueden incidir en que algunos cómics sean mejores que otros en la transmisión del conocimiento científico.

El análisis bibliométrico muestra que el tema de la enseñanza de las ciencias a través del cómic está todavía en pañales, al menos desde el punto de vista de las publicaciones universitarias. Tuvo su apogeo antes de la pandemia del Covid 19, que fue inmediatamente aplastada, probablemente debido al cierre de las escuelas (lo mismo ocurrió con el estudio que nosotros mismos queríamos realizar utilizando el cómic de Arquímedes). Sin embargo, de la lectura de los trabajos relativos al ámbito más general de la divulgación científica a través del cómic se desprende que éste puede ser un medio de enseñanza con un inmenso potencial, si se cumplen determinadas condiciones. Sin

embargo, según el análisis narrativo, los pocos experimentos realizados en la última década en aulas de estudiantes se han llevado a cabo a menudo con cómics creados por los propios profesores, que carecen de las habilidades artísticas y narrativas que, según la investigación interdisciplinar, serían necesarias para crear cómics atractivos. Todo esto sugiere que aún queda un largo y tortuoso camino por recorrer en el campo de la enseñanza de las ciencias a través del cómic. Sin embargo, en los últimos años, parece que el uso del cómic en el campo de la divulgación está creciendo, también en lo que se refiere a colaboraciones (artistas que trabajan con científicos, profesores con dibujantes...). Muchos de estos productos ocupan ya las estanterías de las mayores cadenas de librerías, y nuestro más sincero deseo es que finalmente la colaboración entre expertos en las diversas ramas de la educación, la producción artística y la comunicación pueda explotar el potencial de este interesante medio de divulgación para que aprender ciencia divirtiéndose sea un día posible para todos.

## 6. Otros proyectos

Para completar el discurso sobre cómo involucrar a los nativos digitales, a continuación se muestra una selección de sitios web y proyectos que tratan la ciencia usando los cómics como medio de divulgación. En efecto, después de haber abordado el tema de la divulgación científica desde un punto de vista académico, queremos ampliar nuestros conocimientos al mundo de la comunicación digital.

<http://www.amoebasisters.com/> se ocupa de la biología en el nivel secundario utilizando cómics y videos animados cortos. Los videos son todos gratis y duran menos de 10 minutos para dar más tiempo para la discusión de clase, la exploración, los laboratorios prácticos, y la creación de estudiantes. Están organizados en secuencia en una lista de reproducción de aprendizaje y tienen subtítulos (22 idiomas) para ayudar a hacerlos más accesibles. Los videos son claros, explicativos y tienen un buen atractivo gráfico.

<http://www.appliedcomicsetc.com/> colabora con investigadores para compartir los resultados de la investigación universitaria con un público muy joven. Realiza servicios de pago como gestión de proyectos, creación y publicación de cómics físicos y digitales, servicios editoriales de cómics y obras culturales, gestión de proyectos de trabajo de divulgación y compromiso para organizaciones académicas y culturales. El material gratuito disponible es escaso y se refiere esencialmente a algunos de los proyectos realizados, pero el enfoque del tema de la comunicación es multidisciplinar.

<https://artibiotics.com/> es el blog de un médico y artista que, mediante el uso de dibujos animados, explora el mundo de la medicina, las dolencias y los tratamientos. La mayor parte del sitio está lleno de bellas ilustraciones médicas diseñadas en estilo cartoon. Aunque el enfoque es multidisciplinar, los aspectos científicos y gráficos prevalecen sobre el storytelling. A pesar de ello, también hay algunas buenas historias de cómics.

<https://www.artscistudios.com/> es el blog de un ilustrador multi-graduado en materias científicas con una pasión por enseñar ciencias a través de sus dibujos. Por desgracia, los contenidos gratuitos son pocos, y la mayoría de ellos son imágenes muy detalladas que, sin embargo, se venden en la sección de merchandising.

<http://www.asapscience.com/> habla sobre ciencia de una manera divertida. El enfoque es multidisciplinar, y el punto fuerte de este proyecto es que utiliza podcast, música, dibujos, vídeos y otros canales de comunicación no sólo para enseñar algo, sino también con la clara intención de implicar al público. En mi opinión, muy buen proyecto, perfectamente exitoso. Mis alumnos están locos por algunos de estos videos.

<https://www.asi.it/> es la página de la Agencia Espacial Italiana dedicada a la ciencia y los cómics. En este momento es posible descargar dos libritos en formato pdf: "¡Tierra! El mundo visto desde el Espacio" y "Astropartículas. Una materia muy oscura". Más que de cómics reales, se trata más de folletos ilustrados. Son ligeros en forma pero ricos en contenido. El enfoque es principalmente científico, en línea con el sitio web, pero con un buen atractivo gráfico. Están escritos en italiano.

<http://www.alymphslife.com/> explica cómo funcionan el sistema inmunitario, las vacunas, los antibióticos y la flora bacteriana. Hay un verdadero "reparto" de personajes (linfocitos en su mayoría) que se describen en detalle, cada uno con sus propias características. El cómic es apoyado por un texto escrito, y por lo tanto se presenta como un complemento más que como un producto totalmente independiente. De todos modos, es una idea graciosa.

<http://www.beatricebiologist.com/> es el sitio de una ilustradora y dibujante, ex profesora de biología de secundaria y entusiasta de la ciencia. Más que de historias de cómic se trata de viñetas individuales que abordan el tema de la biología a través de chistes simpáticos y juegos de palabras. Los gráficos son muy atractivos, y a pesar de que la autora es una profesora, el enfoque es todo menos escolar.

<https://www.biologycomics.com/> está escrito y diseñado para estudiantes de secundaria, el dibujante es entomólogo. El enfoque es principalmente científico, y los cómics son bastante exigentes. De hecho, a pesar de la clara intención de construir una historia alrededor de los protagonistas, aquí los cómics son principalmente un instrumento para explicar una lección. Después de un tiempo, se ponen pesados.

<http://www.birdandmoon.com/> es el blog de un naturalista ornitólogo, los protagonistas de las caricaturas son pajaritos. Los dibujos en cuestión son principalmente viñetas individuales que pueden presentarse en forma de infografías, buenas prácticas, breves clases de ciencias, juegos de palabras, historias divertidas.

<http://www.boostershotcomics.com/> es el resultado de la colaboración entre un dibujante pediatra y un experto en divulgación científica. La intención didáctica es muy evidente, pero los cómics son muy cuidados, sobre todo desde el punto de vista gráfico. El sitio es rico en materiales útiles, principalmente relacionados con la medicina y la biología. Los vídeos son cortos, el diseño tiene una línea clara y limpia y las explicaciones son simples.

<http://www.cartoonscience.org/> es el blog de Matteo Farinella, que explora las posibles conexiones entre el mundo de la ciencia y el de los cómics. Es esencialmente dirigido a los profesionales de la divulgación científica, en particular investigadores, rico en ideas que estimulan el tema de la relación entre ciencia y cómics desde diferentes ángulos. También ofrece enlaces a varios experimentos de divulgación científica en la web que hemos consultado durante la redacción de este trabajo de tesis.

<https://darryl-cunningham.blogspot.com/> es el blog de Darryl Cunningham, escritor y dibujante que ha publicado cómics sobre ciencia, higiene mental y economía. El sitio trabaja mucho en el merchandising y por lo tanto en la venta de los productos. El material gratuito es poco y tiene un propósito esencialmente publicitario. Los contenidos no remunerados de valor son en su mayoría comentarios de otros cómics o novelas gráficas, ricos en detalles y útiles en caso de que usted mira alrededor en busca de materiales útiles.

<https://drawinghistoryofscience.wordpress.com/> es el blog de un periodista, escritor, dibujante y doctor que trabajó en el campo de la investigación del cáncer y aquí cuenta la historia de la ciencia. Los cómics son muy didácticos... no hay protagonistas, no hay historias... Son sobre todo libros ilustrados que tratan de temas científicos o de la historia de la ciencia. El sitio tiene un corte periodístico, de título. Los dibujos son muy cuidados.

<http://dwaynegodwin.tumblr.com/> En este sitio el tema principal es la neurociencia. Los dibujos no son verdaderos cómics, sino ilustraciones sabiamente contadas y agradables desde el punto de vista gráfico. También las vidas de los científicos se cuentan como biografías y no como clásicas historias en las que hay varios personajes que interactúan, pero son igualmente convincentes y cautivadores.

<https://edge.sagepub.com/> es un sitio que trata temas estadísticos. Para cada uno de ellos también hay muchos ejercicios. Todo acompañado de bellas imágenes. El cómic no es gratis, pero de la

presentación parece establecido como una clásica historia de superhéroes, tanto desde el punto de vista gráfico como narrativo. El sitio tiene la estructura del instrumento que un profesor utiliza con sus estudiantes. Para acceder a los recursos hay que inscribirse y hacer el login.

<http://www.erccomics.com/> es un proyecto financiado por la Unión Europea que explora el potencial de la narración a través del cómic para innovar la forma en que se difunde la investigación científica europea. Algunos videos animados son interesantes, pero hay que ir a buscarlos entre tantos recursos que se refieren a proyectos realizados en el pasado y no siempre es fácil. Los proyectos son a veces contratados por empresas, y aunque el sitio está disponible en varios idiomas, la mayoría de los recursos están en francés.

<http://www.eurostemcell.org/> El propósito de EuroStemCell es ayudar a los ciudadanos europeos a comprender las células madre. El sitio ofrece información sobre células madre y su impacto en la sociedad. La intención didáctica es evidente, pero el cómic se desarrolla a través de una historia en la que varios personajes interactúan entre sí. El contenido científico es consistente, y no se puede comparar con una historia clásica, pero el libro es legible.

<https://evolution.berkeley.edu/> ¿Qué es la evolución y cómo funciona? Evolution 101 cuenta en los cómics los mecanismos que, en la historia de la vida en la Tierra, nos llevaron a nuestro grado actual de evolución. El cómic de lectura es uno, es simpático y habla de reproducción de una manera graciosa. El equipo que se ocupa del sitio web está compuesto en su mayoría por científicos.

<https://freerads.org/> el propósito de los radicales libres es ir en la dirección de una ciencia éticamente correcta. El autor quisiera contribuir a un cambio real en la sociedad divulgando el conocimiento necesario para discutir la ciencia de manera crítica. No hay historietas propiamente dichas, sino textos sencillos y llenos de imágenes que tienen por objeto sensibilizar a la opinión pública sobre temas de actualidad que afectan a la ciencia.

<https://frozengroundcartoon.com/> Un grupo internacional de investigadores trabaja en un proyecto que combina arte y ciencia: una serie de cómics sobre el permafrost (suelo congelado). El objetivo del proyecto es explicar cómo se realiza la investigación en el borde de las áreas polares y hacer que la ciencia del permafrost sea más divertida y accesible para el público. El equipo que se ocupa del proyecto es heterogéneo e incluye científicos, artistas y divulgadores científicos.

<https://gemmacomics.com/> es el blog personal de la autora de este trabajo, que utiliza como canal de comunicación con sus alumnos. Los principios de la física se explican con la ayuda de personajes de dibujos animados o dibujos animados. Pero el aspecto más interesante es sin duda la presentación del cómic sobre Arquímedes, finalista al Premio Nacional de Divulgación Científica Giancarlo Dosi 2020, disponible en 3 idiomas: Italiano, Español e Inglés.

<https://www.gla.ac.uk/> es un proyecto de la Universidad de Glasgow, Inglaterra. Leí un cómic sobre toxoplasmosis ... un médico le dice a su gato qué es, pero no hay historia, me pareció un poco aburrido. El equipo incluye artistas y científicos, los cómics son 4. En mi opinión, la parte científica prevalece sobre el storytelling, y corre el riesgo de no implicar adecuadamente al lector de cómics están bien cuidados y bien diseñados.

<http://hebergement.u-psud.fr/> Es el blog de un ilustrador que pasó cuatro meses en un laboratorio de física. Aquí vivió con físicos, investigadores y estudiantes que intentaban capturar e informar anécdotas sobre la vida universitaria. El aspecto gráfico prevalece, el aspecto científico está bien representado. Storytelling es muy básico.

<http://www.hellomaestro.fr/> los recursos no son gratuitos, pero creo que estos productos son excepcionales. Recomiendo encarecidamente la serie de dibujos animados "Once upon a time: le discoverers", que cuenta de forma divertida la historia de los grandes científicos del pasado y sus descubrimientos, y "Once upon a time: life" que cuenta cómo funciona el cuerpo humano. Los DVD contienen la versión original en francés y el doblaje en inglés.

<https://interviewswithinvertebrates.com/> es el blog de un biólogo especializado en oceanografía. Cada semana publica una tira cómica sobre invertebrados y la completa con una breve publicación explicativa. Las tiras comprenden de una a tres viñetas con un ritmo final. Bajo la tira se añaden 3 o 4 líneas de descripción que explican, desde el punto de vista científico, algo más que los dibujos. Idea muy interesante...

<http://www.jayhosler.com/> es un blog totalmente dedicado a los cómics científicos. Su creador, Jay Hosler, enseña biología en Juniata College, Pennsylvania. Fue interesante escuchar su conferencia TED "[Science Comics can save the world!](#)" Los dibujos son claros y las historias son divertidas. A menudo tienen mascotas como protagonistas. Jay Hosler es considerado uno de los pioneros y expertos más grandes en divulgación de la ciencia a través de los cómics.

<http://jeffdayart.com/> Jeff Day es médico y también es artista. Combinando sus dos habilidades, produjo videos cortos de dibujos animados que explican temas de biología de una manera simple y clara, especialmente el cuerpo humano. Se trata de breves lecciones en las que los dibujos y las animaciones contribuyen a que la información pase de una manera clara y sencilla.

<https://www.jkxcomics.com/> El propósito de este sitio es hacer una contribución a la literatura científica con especial atención a STEM. Los cómics son el vehículo a través del cual se proporciona información, pero si bien los contenidos parecen claros y correctos desde un punto de vista científico, falta el atractivo de la narración de historias.

<https://joannawendelcomics.com/> es el sitio de un divulgador científico que produce cómics científicos para varias agencias. Incluso hizo algunos para la NASA. Estos son en su mayoría cómics explicativos, y sin embargo, bien hechos, carecen de una historia que dé cuerpo a las ilustraciones (hermosas) y que aclara el concepto que se quiere transmitir

<https://www.karenromanoyoung.com/> tiene como tema principal la investigación sobre el cambio climático y, en particular, sobre la Antártida. En lugar de cómics, estos son dibujos animados individuales, ilustraciones con una clara intención popular pero con una parte de escritura muy consistente.

<http://www.kayleenschreiber.com/> es el sitio de un neurocientífico e ilustrador que se enfoca en el cerebro. No hay cómics sino ilustraciones, infografías y algunos videos explicativos. Más bien serio, poco envolvente.

<http://kurzgesagt.org/> en este sitio, que tiene un canal de youtube dedicado, hay muchos hermosos videos de dibujos animados sobre temas científicos. Su duración es de aproximadamente cinco minutos. En mi opinión, representan un excelente recurso para estudiantes, profesores y personas curiosas.

<https://liz.kozik.net/> el sitio es de un doctor en Medio Ambiente y recursos con una fuerte predisposición al arte. Hay cómics, que son más que las lecciones ilustradas, pero la forma en que ven las obras los penaliza, no es fácil leerlos.

<https://makinaro.myportfolio.com/> aquí las caricaturas están bien cuidadas tanto en términos de gráficos como de contenido. Pero, más que nada, presentan un problema, un hecho. Falta una historia, pero en general el sitio funciona como educativo.

<https://massivesci.com/> quizás lo más interesante desde el punto de vista de la interacción entre arte y ciencia son los videos de dibujos animados. La intención didáctica es evidente, son un poco aburridas y no se entienden fácilmente.

<http://matteofarinella.com/>

<https://medcomic.com/> ¡ Me gusta! Trata temas médicos utilizando no solo cómics y animaciones, sino también a través de canciones de rap con videos de dibujos animados ... idea divertida.

<https://myshadow.org/> es un proyecto que trata de ayudar a las personas a verificar sus rastros en la web y comprender cómo la industria de la información utiliza estos datos. Todo a través de animaciones cortas.

<http://www.nature.com/> Nature celebra 25 años de investigación sobre el cambio climático con un cómic. ¿Pueden las naciones unirse para salvar el clima de la Tierra? Lo encontré pesado ...

<http://newtonandcopernicus.com/> ofrece tiras cortas en las que el diálogo entre dos cobayas de laboratorio informa a las píldoras sobre el mundo de la investigación. Los gráficos del sitio son viejos, las rayas son agradables.

<https://www.northeastern.edu/> El objetivo de los administradores de este sitio es mejorar la comprensión de las materias STEM en todos los niveles, comenzando desde la escuela y llegando a la educación de adultos. Sin embargo, los cómics no tienen historia ... son aburridos.

<http://phdcomics.com/> es un sitio muy bien hecho donde la brecha de comunicación entre científicos, académicos y el público se destaca de una manera divertida. Además de los cómics, hay videos interesantes y divertidos que explican algunos fenómenos científicos.

<http://www.physicscentral.com/> el sitio trata en general sobre física, pero esta página en particular contiene algunos cómics sobre superhéroes que se enfrentan a las leyes que los niños descubrirían. Muy lindo

<http://www.savoir-sans-frontieres.com/> es un proyecto global que se ocupa de la difusión gratuita de conocimiento, científico y de otro tipo, a través de cómics y novelas gráficas en 28 idiomas. Los archivos PDF se pueden descargar e imprimir.

<https://science.gsfc.nasa.gov/> En esta página del sitio web de la NASA puede descargar tres cómics en los que los científicos discuten esos aspectos relacionados con las condiciones climáticas de la Tierra. El objetivo es estimular la curiosidad hacia el cambio climático.

<https://sciencereligionsspectrum.org/> este sitio es interesante porque le permite explorar un tema sobre el que todos hemos pedido aclaraciones al menos una vez y sobre el que no se dice que hemos tenido respuestas claras ... la relación entre ciencia y religión.

<http://www.scientoon.com/> ofrece dibujos animados satíricos sobre temas como nuevas tecnologías, investigación, ideas, experimentos. Los chistes ofrecen comida para el debate, últimamente el número de dibujos animados gratuitos ha disminuido a favor de las publicaciones.

<http://statedclearly.com/> Aquí los dibujos se utilizan para crear hermosas animaciones para videos explicativos. Incluso si no se trata de cómics, la idea es buena.

<http://sydneypadua.com/> *Lovelace and Babbage* es actualmente un candidato a novela gráfica para el premio Eisner, pero en este sitio encontrará historias gratis y divertidas que involucran a los mismos personajes.

<http://www.stumpycomics.com/> A una selección gratuita de cómics sobre las "revoluciones" que han caracterizado la historia de la ciencia, se agregan nuevos episodios que se pueden comprar por unos pocos centavos.

<http://underdonecomics.com/> esencial y agradable. No hay cómics reales, sino muchas caricaturas individuales con una broma que se refiere al mundo de los animales o la ciencia.

<http://vis.sciencemag.org/> aquí un buen intento de un cómic multimedia que explica la teoría de la relatividad general. Agradable, pero los clics continuos crean un poco de confusión.

<http://worldofviruses.unl.edu/> De un equipo de investigadores que se ocupan de virus y vacunas en particular, nació este proyecto de divulgación científica del cómic, dedicado en particular al grupo

de edad de estudiantes de secundaria, en el que más A menudo hay una pérdida de interés en la ciencia.

<https://www.readingwithpictures.org/> Durante las vacaciones de verano, agosto de 2021, me encontré con un proyecto virtual de tres días de duración, "Teaching with pictures", organizado por la asociación Reading with Pictures, que sigo desde hace varios años. El equipo, formado por profesores, diseñadores e investigadores, tiene habilidades muy variadas que se enriquecen mutuamente y cuya combinación tiene por objeto descubrir maneras divertidas e interesantes para implicar al público (a menudo los estudiantes) en el estudio de disciplinas consideradas hostiles.

<https://www.cnr.it/it/comics-and-science> (italiano) Comics&science es una colección de Cnr Edizioni (Unidad de Comunicación y Relaciones con el Público) que lleva el nombre de la homónima sección de la programación cultural de Lucca Comics & Games, de la que es cita fija desde 2012. Su objetivo es promover la relación entre ciencia y entretenimiento, con la convicción de que ambos constituyen momentos formativos importantes para el crecimiento del individuo y del ciudadano.

## 7. Referencias bibliográficas

Aleixo, P. & Norris, C. (2010). The Comic Book Textbook. *Education and Health*, 28 (4), 72–74.

Amaral, S. V., Forte, T., Ramalho-Santos, J. and Cruz, M. T. G. (2015). I Want More and Better Cells! – An Outreach Project about Stem Cells and Its Impact on the General Population. *PLOS ONE*, 10 (7), 1-16.

Anderson, P. F., Wescom, E. & Carlos, R. C. (2016). ‘Difficult Doctors, Difficult Patients: Building Empathy’. *Journal of the American College of Radiology*, 13 (12), 1590–1598.

Appel, M. & Richter, T. (2007). Persuasive Effects of Fictional Narratives Increase Over Time. *Media Psychology* 10 (1), 13–134.

Arnau, J. (2003) (CD-ROM). Diseños de investigación aplicada. Barcelona. Edicions Universitat de Barcelona.

Arrojo, A. (2001). Comics as a Narrative in Natural Science Education. *Western Anatolia Journal of Educational Sciences (WAJES)*, Dokuz Eylul University Institute, Izmir, Turkey ISSN 1308-8971

Avraamidou, L. & Osborne, J. (2009). The Role of Narrative in Communicating Science. *International Journal of Science Education* 31 (12), 1683–1707.

Bennett, S. J., & Maton, K. (2010). Beyond the ‘digital natives’ debate: towards a more nuanced understanding of students’ technology experiences. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26 (5), 321-331.

Bornmann L. (2013). Scientific peer review. *Annual Review of Information Science and Technology*. 2011;45(1):197–245. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/aris.2011.1440450112>

Brossard D. (2013) New media landscapes and the science information consumer. *National Academy of Science USA* 110 (Suppl 3), 14096–14101.

Campanario, J.M., Moya, A., & Otero, J.C. (2001). Invocaciones y usos inadecuados de la ciencia en la publicidad. *Enseñanza de la ciencias*, 2001, 19 (1), 45-56

Campbell, D. y Stanley, J. (2011). Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social. Buenos Aires: Amorrortu.

Carrascosa Ali, J. (2017). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte III). Utilización didáctica de los errores conceptuales que aparecen en comics, prensa, novelas y libros de texto. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación De Las Ciencias*, 3(1), 77-88

- Crăciun, D., & Bunoiu, M. (2019). Digital Comics, a Visual Method for Reinvigorating Romanian Science Education. *Revista Romaneasca pentru Educatie Multidimensionala*, 11 (4), 321-341.
- Crăciun D., Crăciun P. & Bunoiu M. (2016). Digital storytelling as a creative teaching method in Romanian science education. *AIP Conference Proceedings* 1722, 310001, 1-4.
- Davies, A., Fidler, D., & Gorbis, D. (2011). *Future Work Skills 2020*. Palo Alto, CA: Institute for the Future for University of Phoenix Research Institute.
- Dahlstrom, M. F. (2014). 'Using narratives and storytelling to communicate science with nonexpert audiences'. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (Supplement 4), 13614–13620.
- Dahlstrom, M. F. & Ho, S. S. (2012). 'Ethical Considerations of Using Narrative to Communicate Science'. *Science Communication* 34 (5), 592–617.
- Dallacqua A.K. & Peralta L.R.(2019). Reading and (Re)writing Science Comics: A Study of Informational Texts. *The Reading Teacher* Vol. 73 No. 1, 111–118.
- Falk, J. H., Storksdieck, M. & Dierking, L. D. (2007). Investigating public science interest and understanding: evidence for the importance of free-choice learning. *Public Understanding of Science* 16 (4), 455–469.
- Farinella, M. (2018). The potential of comics in science communication. *Journal of Science Communication* 17 (01), Y01. <https://doi.org/10.22323/2.17010401>
- Furuno, Y. and Sasajima, H. (2015). Medical Comics as Tools to Aid in Obtaining Informed Consent for Stroke Care. *Medicine* 94 (26), e1077. <https://doi: 10.1097/MD.0000000000001077>
- Gallego Torres, A. P. (2006). Imagen popular de la ciencia transmitida por los còmics. *Revista Eureka sobre la ensenanza y divulgacion de las ciencias* 4 (1),141- 151
- Gerrig R.J. (1993). *Experiencing Narrative Worlds: On the Psychological Activities of Reading*, New Haven, CT: Yale University Press)
- Gibson R, & Zillmann D. (1994) Exaggerated versus representative exemplification in news reports. Perceptions of issues and personal consequences. *Communication Research* 21(5), 603–624.
- Gould, S. J. (1992). *Bully for Brontosaurus: Reflections in natural history*, London, UK: W.W. Norton & Company.
- Green M.C. (2006) Narratives and cancer communication. *Journal of Communication* 56 (Suppl 1):S163–S183.
- Halliday, A. K. & Martin, J. R. (1993). *Writing science: Literacy and discursive power*. London: The Falmer Press.

Hosler, J. & Boomer, K. B. (2011). 'Are Comic Books an Effective Way to Engage Nonmajors in Learning and Appreciating Science?' *CBE — Life Sciences Education* 10 (3), 309–317.

Katz Y. (2013) Against storytelling of scientific results. *Nature Methods* 10(11), 1045. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2699>

Khalid, H., Meerah, T. S., & Halim, L. (2010). Teachers' perception towards usage of cartoon in teaching and learning physics. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 7, 538- 545.

Kennepohl, D. & Roesky, H. W. (2008). Drawing Attention with Chemistry Cartoons. *Journal of Chemical Education* 85 (10), 1355. <https://doi.org/10.1021/ed085p1355>

Kim, J., Chung, M. S., Jang, H. G. & Chung, B. S. (2016). 'The use of educational comics in learning anatomy among multiple student groups'. *Anatomical Sciences Education* 10 (1), 79–86.

Kivunja, C. (2014). Theoretical perspectives of how digital natives learn. *International Journal of Higher Education*, 3(1), 94-109.

Klein, P. D. 2006. The challenges of scientific literacy: From the viewpoint of second- generation cognitive science. *International Journal of Science Education*, 28(2–3) 143–178.

Lin, S.-F., Lin, H., Lee, L. and Yore, L. D. (2015). Are Science Comics a Good Medium for Science Communication? The Case for Public Learning of Nanotechnology. *International Journal of Science Education, Part B* 5 (3), 276–294.

McAllister M.P., (1992). Comic books and AIDS. *The Journal of Popular Culture* 1992;26 (2), 1-24.

Meyer, K. 1998. Reflections on being female in school science: Toward a praxis of teaching science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 463–471.

McCloud, S. (1994). *Understanding Comics: The Invisible Art*. (Reprint edition). New York, NY, U.S.A.: William Morrow Paperbacks.

Moyer-Guse E, & Nabi R.L. (2010) Explaining the effects of narrative in an entertainment television program: Overcoming resistance to persuasion. *Human Communication Research* 36 (1), 26–52.

Progetto "Pixar in a Box"

<https://www.khanacademy.org/partner-content/pixar/storytelling>

Rossmann, G. B., & Wilson, B. L. (1985). Numbers and Words: Combining Quantitative and Qualitative Methods in a Single Large-Scale Evaluation Study. *Evaluation Review*, 9(5), 627–643. <https://doi.org/10.1177/0193841X8500900505>

- Semeraro, R. (2014). L'analisi qualitativa dei dati di ricerca in educazione. *Italian Journal of Educational Research*, (7) 97–106. <https://ojs.pensamultimedia.it/index.php/sird/article/view/267>
- Short, J. C., Randolph-Seng, B. & McKenny, A. F. (2013). Graphic Presentation, an empirical presentation of the graphic novel approach to communicate business concepts. *Business Communication Quarterly* 76 (3), 273–303.
- Spiegel, A. N., McQuillan, J., Halpin, P., Matuk, C. & Diamond, J. (2013). Engaging Teenagers with Science Through Comics. *Research in Science Education* 43 (6), 2309–2326.
- Symons, C. S. & Johnson, B. T. (1997). The self-reference effect in memory: A meta-analysis. *Psychological Bulletin* 121 (3), 371–394.
- Thomas D.R. (2006). A General Inductive Approach for Analyzing Qualitative Evaluation Data. *American Journal of Evaluation*, 27 (2) 237-246 <https://doi.org/10.1177%2F1098214005283748>
- Toledo, M. A., Yangco, R. T. and Espinosa, A. A. (2014). Media Cartoons: Effects on Issue Resolution in Environmental Education. *International Electronic Journal of Environmental Education* 4 (1). 19-51
- Trnova, E., Trna J., & Vacek, V. (2018). The use of comics in experimental instructions in a non formal chemistry learning context. *International Journal of Education in Mathematics Science and Technology*. 6(1),93-104
- Waltman, L. (2016), A review of the literature on citation impact indicators. *Journal of Informetrics* 10 (2) 365–391 <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.02.007>

# 8. Apendice

## 8.1. Títulos de las leyendas utilizadas para el análisis de contenido

- 1) A Comic-Style Chat System with Japanese Expression Techniques for More Expressive Communication

Este artículo propone una interfaz de chat estilo cómic que incorpora técnicas de expresión del manga japonés. Mediante la incorporación de las técnicas de Manga japonés, este papel intenta explicar cómo crear una pantalla con un orden de lectura simple y un visual que transmite fácilmente el seleccionado emociones. Los resultados del experimento mostraron que el sistema propuesto es superior a los sistemas de chat prevalentes en los estados del usuario de transporte de mente.

- 2) A comparison of learning the digestion process with comic strips and endoscopic video: the effects on student's achievement and its contributing factors

Las tiras cómicas y los videos son dos medios populares utilizados en la educación científica actual. Los objetivos de este estudio fueron examinar los resultados del aprendizaje y explorar los factores contribuyentes que impulsan a los estudiantes a lograr los resultados del aprendizaje. Se empleó un diseño cuasi-experimental. Los resultados mostraron que su mayor factor contribuyente para los resultados de aprendizaje era la motivación personal seguida por el profesor y los medios de comunicación.

- 3) A graphic novel from the 4th International Symposium on the Effects of Climate Change on the World's Oceans

Los océanos del mundo están cambiando en respuesta a un clima cambiante, estos cambios tienen consecuencias significativas, hay mucho en riesgo, y la acción se necesita ahora para aumentar la resiliencia de los ecosistemas oceánicos y las personas que dependen de ellos. Ese fue el mensaje del cuarto Simposio internacional "Efectos del cambio climático en los océanos del mundo", celebrado del 4 al 8 de junio de 2018 en Washington, DC. Un artista gráfico profesional asistió a la

reunión, y produjo una gama de dibujos animados sorprendentemente perspicaces y a menudo conmovedores como un medio eficaz para compartir las lecciones de la conferencia en tiempo real.

#### 4) A Novel Graphic Medicine Curriculum for Resident Physicians: Boosting Empathy and Communication through Comics

La Medicina Gráfica (GM) utiliza los cómics, un medio que combina texto e imágenes, para comunicar conceptos de salud. Se impartió un currículo de cuatro semanas en un programa de residencia en neurología. El 97% de los residentes informó que las sesiones fueron un buen uso de su tiempo. Los residentes identificaron nuevos síntomas de trastornos neurológicos, comunicación articulada del paciente necesidades, y expresó mayor empatía después de la participación. La medicina gráfica es un formato recibido que puede construir habilidades de comunicación y aumentar la empatía.

#### 5) A proposal for teaching bioethics in high schools using appropriate visual education tools

Enseñar bioética con herramientas de educación visual, como películas y cómics, es una manera única de explicar historia y progreso de la investigación humana y el arte y la ciencia de la medicina a los estudiantes de secundaria. Como adultos, ellos tomará decisiones morales que puedan afectar su salud y bienestar, así como el de sus comunidades y sociedades. Sin embargo, no todas las herramientas de educación visual son apropiadas para la pedagogía de la bioética en la escuela secundaria. Los productores deben considerar los detalles de la edad, raza, género, creencias, nivel de educación y orientación sexual de los estudiantes.

#### 6) A Revised Production Model of Learner-Generated Comic: Validation through Expert Review

Se propuso un modelo de producción conceptual de cómic generado por el alumno para guiar a los alumnos en el diseño y desarrollo de cómics educativos digitales. En consecuencia, como etapa de adopción de decisiones para validar el modelo propuesto, se adoptó el método de examen por experto y se llevó a cabo un ciclo final de evaluación para aprobar el modelo de producción.

### 7) Accessible Comics for Visually Impaired People: Challenges and Opportunities

En los últimos años, las técnicas de Documentar el análisis de imágenes ha aportado nuevos conocimientos sobre la comprensión de los cómics. Este artículo describe los desafíos y las oportunidades de concebir cómics accesibles para personas con discapacidad visual. Tras un resumen de las iniciativas existentes, destacamos brevemente en qué medida la comunidad podría ayudar a tal objetivo de manera multidisciplinaria, colaborando con campos como las interacciones hombre-ordenador, la ciencia cognitiva e incluso Investigación Educativa.

### 8) An overview of comics research in computer science

Una amplia variedad de investigaciones sobre cómics ha sido propuesto en los últimos años. Uno de los principales investigadores en análisis de imagen documental es sobre contenido de cómics análisis y segmentación como globos, texto o paneles. Sin embargo, estas partes han sido cubiertas por diferentes campos de investigación (análisis de imagen documental, multimedia, inteligencia artificial, interacción informática humana, etc.) con diferentes conjuntos de valores. En este trabajo se propone una visión general sobre la investigación previa sobre cómics en ciencias de la computación.

### 9) Anatomy Comic Strips

Los autores de este artículo crearon tiras cómicas para enseñar anatomía más interesante y eficaz. Cómics de cuatro marcos fueron conceptualizados de un conjunto de historias humorísticas relacionadas con la anatomía recogidas del colectivo de autores. Los cómics fueron dibujados en papel y luego recreados con software gráficos digitales. Más de 500 historietas han sido dibujadas y etiquetadas en coreano, y algunos de ellos han sido traducidos al inglés. Las tiras cómicas fueron escritas y dibujadas por experimentados anatomistas, y las respuestas de los espectadores en general han sido favorables.

### 10) Android-Assisted Physics Comic Learning to Train Students' Conceptual Understanding of Newton's Gravity

El objetivo de la investigación es determinar la comprensión conceptual de los estudiantes del concepto de gravitación de Newton mediante la producción de cómics de física. Esta investigación se llevó a cabo en mayo 2018 para estudiantes de secundaria de grado 10 de ciencias, utilizando una clase de rumbel con 10 estudiantes. Los investigadores utilizaron el modelo de desarrollo ADDIE. Los resultados mostraron que la comprensión de los el uso de medios android con ayuda de cómics se puede clasificar como bueno.

#### 11) Are Comic Books an EffectiveWay to Engage Nonmajors in Learning and Appreciating Science?

Aquí se presentan los resultados de la primera evaluación sistemática de cómo un cómic de ciencia puede afectar el aprendizaje de los estudiantes y las actitudes acerca de la biología. Sin embargo, en el instrumento de postinstrucción, el contenido de los no mayores resultados y actitudes mostraron una mejoría estadísticamente significativa después de usar el cómic, particularmente entre aquellos con menor conocimiento de contenidos al inicio del semestre.

#### 12) Are Science Comics a Good Medium for Science Communication? The Case for Public Learning of Nanotechnology

Los cómics que poseen las características de humor, narrativa y representación visual se consideran como un medio potencial para la comunicación científica; sin embargo, estudios empíricos que exploran los efectos de los cómics son escasos. Los propósitos de este estudio fueron examinar y comparar los impactos de un cómic libro y un folleto de texto sobre la transmisión de los conceptos de nanotecnología y para investigar público percepciones del uso del cómic como una herramienta para la comunicación de la ciencia. Los resultados de la percepciones implican que los cómics científicos tienen el potencial de desarrollar el interés continuo de los laicos y disfrute para aprender ciencia leyendo cómics.

#### 13) Building an Argument for the Use of Science Fiction in HCI Education

Literatura de ciencia ficción, cómics, dibujos animados y, en particular, audiovisuales materiales, tales como películas de ciencia ficción y espectáculos, puede ser un valioso adición en la

interacción humano-computadora (HCI) Educación. Siempre que uno sea consciente de su potencial y limitaciones, se razona que la ciencia ficción puede ser una extensión significativa de aspectos seleccionados de los currículos e investigaciones de HCI.

14) Cartoon versus traditional self-study handouts for medical students: cartoon randomized controlled trial

El objetivo de este estudio es comparar la eficacia de un folleto de "estilo caricatura" con un "estilo tradicional" Una asignación de auto-estudio para estudiantes de medicina preclínica. De los 79 participantes que completaron la prueba de post-aprendizaje, los del grupo de dibujos animados lograron una puntuación más alta que el grupo de estilo tradicional, y los estudiantes que recibieron un folleto al estilo de dibujos animados reportaron leer más del material..

15) Comic Books, Graphic Novels, and a Novel Approach to Teaching Anatomy and Surgery

El autor de este papel, educador y artista de biología, había usando el dibujo para toda su carrera para traer estudiantes más cerca del mundo natural y ayudarles a profundizar su comprensión de la forma. Ha utilizado una variedad de técnicas de enseñanza en biología y anatomía. Más recientemente descubrió que podía transferir su visual narrativa de la biología utilizando el dibujo y los cómics para mis clases de anatomía y a los residentes de cirugía y estudiantes de medicina. Esta fusión de bellas artes y ciencias de la vida resultó en una exposición de bellas artes, dos trabajos publicados, y pedagogía de un género de cómic y novela gráfica que dibujo de anatomía enseñado a la medicina y la anatomía estudiantes a través de narrativa quirúrgica.

16) Comic strips help children understand medical research Targeting the informed consent procedure to children's needs

Los niños involucrados en la investigación médica a menudo no logran comprender los aspectos esenciales de la investigación. En para mejorar el suministro de información, se utilizó un enfoque participativo para desarrollar material explicativo de los conceptos esenciales de la investigación médica. Se desarrolló una tira cómica para apoyar el proceso de consentimiento informado. El

material resultante fue bien entendido y aceptado. Involucrar a los niños en el desarrollo de material de información puede contribuir a la calidad del material.

#### 17) Comics as an Educational Resource To Teach Microbiology in the Classroom

El objetivo de este cómic es proporcionar a los educadores una manera divertida, accesible y rigurosa de generar conciencia de lo invisible mundo que nos rodea y que nos habita. Las bacterias tienen una reputación de entidades dañinas y repugnantes. La educación es el medio para esto fin, y por lo tanto este cómic está destinado a ayudar a los educadores a enseñar microbiología en un atractivo, preciso, y el camino directo. Aquí, presentamos esta herramienta educativa y dar algunos consejos sobre los diferentes temas que se puede abordar en el aula utilizando este recurso.

#### 18) Communicating Science through Comics: A Method

Este documento sugiere un simple y un marco flexible para traducir una publicación científica compleja en un cómic ampliamente accesible formato. Se dan ejemplos para incrustar detalles científicos en una historia fácil de entender. Esta metodología es un intento de aliviar las limitaciones inherentes de la comprensión que resultan de la publicación científica estándar y las prácticas de difusión.

#### 19) Communicating science through the Comics & Science Workshops: the Sarabandes research project

El objetivo de este trabajo es analizar el impacto de Comics & Science talleres donde cuarenta y un adolescentes que creen una tira cómica de una página basada en presentación científica dada por un estudiante de doctorado. Sin embargo, estar involucrados en el proceso creativo les permitió entender las razones de ciertas opciones de ilustración de la ciencia o narración. Este enfoque puede fomentar el surgimiento de una mente crítica con respeto a la lectura de historias científicas creadas en otros contextos.

#### 20) Communicating science: The making of a comics poster on biodeterioration

En un simposio internacional dedicado al biodeterioro, los cómics han demostrado entregar información científica con precisión y un mayor impacto, ya que se ven como más ligero y más agradable de mirar y leer que la misma cantidad de información entregada como un formulario de texto o incluso en gráficos. Siguiendo es la elaboración detallada de un póster de cómics destinado a atraer al público asistente, al tiempo que muestra un contexto científico preciso.

#### 21) Constructing a comic to communicate scientific information about sustainable development and natural resources in Mexico

En esta investigación se propone que los cómics representan una oportunidad para comunicar información científica a las comunidades de baja alfabetización, y también se presenta un ejemplo de el uso de cómics en la comunicación de información sobre el uso sostenible de la nuez maya en las zonas rurales de México.

#### 22) Costellazione Manga: Explaining Astronomy Using Japanese Comics and Animation

Los cómics y la animación son intensamente atractivos y se pueden utilizar con éxito para comunicar la ciencia al público. Ellos parecen estimular muchos aspectos del proceso de aprendizaje y pueden ayudar al desarrollo de vínculos entre las ideas. Dado estas premisas pedagógicas, llevamos a cabo un proyecto llamado Costellazione Manga, en el que consideramos conceptos astronómicos presentes en varios manga y anime (cómics y animaciones japonesas). Los resultados del proyecto indican que Costellazione Manga es un herramienta poderosa para popularizar la astronomía y estimular aspectos importantes del desarrollo del aprendizaje, como la curiosidad y la crítica pensante.

#### 23) Development and Initial Feedback About a Human Papillomavirus (HPV) Vaccine Comic Book for Adolescents

Las tasas de vacunación contra el virus del papiloma humano (VPH) sí no cumplir el objetivo de cobertura del 80 % de Gente Saludable 2020 mujeres adolescentes. Describimos el desarrollo y comentarios iniciales sobre un cómic de vacunas contra el VPH para jóvenes adolescentes.

#### 24) Development of Android Comic Media for the Chapter of Newton's Gravity to Map Learning Motivation of Students

Esta investigación fue diseñada para mapear la motivación de aprendizaje de los estudiantes medios de física cómica. Este estudio utiliza el modelo de desarrollo ADDIE. Los temas tratados en este estudio fueron estudiantes de una escuela secundaria superior en Yogyakarta en el grado de la ciencia 10. Datos Los instrumentos de recogida fueron las hojas de observación de la motivación de los estudiantes y cuestionario de motivación del aprendizaje. Los datos obtenidos se analizaron cuantitativamente.

#### 25) Development of Android Comics media on Thermodynamic Experiment to Map the Science Process Skill for Senior High School

El propósito de este estudio era medir las habilidades de proceso de la ciencia usando cómics de física basados en Android en prácticas sobre termodinámica. Modelos de desarrollo utilizados, a saber, I + D de Borg y Gall. Los resultados revelaron que la aplicación de los medios cómicos Android en experimentos de termodinámica podría mapear las habilidades del proceso de ciencia de la escuela secundaria superior.

#### 26) Development of Student Worksheet through Deep Questions with Physics Comics to Train High Order Thinking Skill in High School Students in Optical Instrument Lup for Maximum Accommodation Eyes

Student Worksheet (LKPD) fue desarrollado con tiras cómicas y a través de integración de preguntas profundas en ellos. Las tiras cómicas fueron tomadas de la serie LUZ Y SONIDO. El proceso de aprendizaje sistemático que utiliza LKPD ha demostrado promover el aprendizaje profundo y puede entrenar las habilidades de pensamiento de alto nivel de los estudiantes.

#### 27) Digital Comics, a Visual Method for Reinvigorating Romanian Science Education

En este contexto, el uso de imágenes y TIC, en particular, de los cómics digitales, puede ser un medio adecuado/ método para la educación científica y la comunicación para esta joven generación. En este artículo, describimos y analizamos cómo Actividades formales y no formales que

incorporan lo digital cómics y otros elementos visuales pueden facilitar el aprendizaje y pueden aumentar entusiasmo/motivación del estudiante para aprender ciencia.

#### 28) Digital Storytelling Tool for Education: An Analysis of Comic Authoring Environments

Como un poderoso medio de narración visual, la literatura sobre cómics en la educación a menudo hace hincapié en sus beneficios afectivos y cognitivos. Sin embargo, ha habido una deficiencia de estudios que evalúan las herramientas de creación de cómics digitales existentes para lograr objetivos de aprendizaje definidos. Al categorizar los componentes de la herramienta de creación de cómics utilizando los criterios definidos por el marco de evaluación del entorno de narración digital, Los hallazgos de este documento proporcionan opciones y oportunidades para que los educadores seleccionen la aplicación de narración digital interactiva adecuada para facilitar los proyectos de cómic generados por los estudiantes.

#### 29) Draw-A-Science-Comic: exploring children's conceptions by drawing a comic about science

Este estudio describe un nuevo instrumento, Draw-A-Science Comic (DASC), y examina las ventajas y desventajas de usar un cómic como una herramienta para recopilar datos sobre las concepciones de los niños de los científicos y la ciencia. Los participantes dibujaron un cómic sobre cómo se hace la ciencia.

#### 30) Eco-Comics as an Educational Tool For Teaching Environmental Journalism and Esp

El artículo discute el uso de los eco-cómics en los estudios de periodismo ambiental y la promoción de la conciencia ambiental a través del periodismo. El medio de los cómics ha existido durante muchas décadas y viene en una variedad de formas, de diferentes orígenes culturales; es rico en material para el estudio académico. Eco-comics para fines académicos y profesionales proporcionan un curso de contenido basado en la investigación diseñado para familiarizar a los estudiantes con los conceptos fundamentales de las ciencias naturales y sociales, así como las humanidades.

### 31) Effects of Reading a Free Electronic Book on Regional Anatomy with Schematics and Mnemonics on Student Learning

Para ayudar a los estudiantes de medicina a aprender anatomía de manera efectiva en horas limitadas, se desarrolló un libro regional de anatomía que mejora la memorización de los estudiantes. La lectura de libros de estos estudiantes llevó a aumentar sus puntajes de anatomía, incluyendo los puntajes de los exámenes escritos y los puntajes de los exámenes de etiqueta. Fue un resultado alentador que casi el 20% de los estudiantes leyeron espontáneamente el libro sin importar quién presentara su conferencia o examen.

### 32) Electronic Comics in Elementary School Science Learning for Marine Conservation.

Una educación marina eficaz requiere que los maestros utilicen estrategias adecuadas que ayuden a los niños a valorar y cuidar el mundo marino. El propósito de este estudio fue determinar la efectividad de los cómics electrónicos para introducir la conservación marina en la escuela primaria. Los resultados del análisis de datos revelaron que los niños de 6 a 8 años están más interesados en aprender usando cómics electrónicos en comparación con los libros impresos.

### 33) Engaging Teenagers with Science Through Comics

Este estudio se centra en los virus como contenido científico. Después de discutir la relación entre el interés y el logro en la ciencia, describimos la razón para usar los cómics como un formato educativo. Los cómics son un género intrigante para la educación científica informal. Aunque originalmente diseñado para el entretenimiento, ahora hay evidencia tentadora de que pueden tener potencial educativo. Aún más importante, los cómics de ciencia pueden involucrar y educar particularmente a los jóvenes que piensan que no son un "tipo de persona de ciencia" y por lo tanto es poco probable que estén interesados en el contenido de la ciencia.

### 34) Expanding Opportunities for Science, Technology, Engineering and Mathematics Subjects Teaching and Learning: Connecting through Comics

Este estudio presenta los resultados de un proyecto de un año de duración centrado en el análisis y la reflexión sobre trabajando con cómics por estudiantes de primer año en los distritos de Hulu

Langat. Este estudio presenta el uso de cómics de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) para ayudar a los niños a entender ciertos fenómenos físicos y tratar de hacer que los estudiantes interesados en las matemáticas y las ciencias sujeto.

35) Fluid Mechanics Education Using Japanese Anime: Examples from “Castle in the Sky” by Hayao Miyazaki

Un estudio reciente sobre la eficacia de la utilización de cultivos pop para la instrucción encontró que los estudiantes de secundaria que aprenden de cómics de estilo de novela gráfica adquiridos más profundamente comprensión de temas complejos y mayor compromiso con la instrucción materiales en comparación con los estudiantes que aprenden de materiales de texto tradicionales. Además, el aumento compromiso con los cómics instructivos fue aún mayor para los estudiantes que eran menos probable que se identifique como una "persona de ciencia."

36) From Claude Bernard to the Batcave and beyond: using Batman as a hook for physiology education

Comunicar la fisiología al público en general y popularizar la ciencia pueden ser actividades tremendamente gratificantes. Sin embargo, puede resultar difícil proporcionar puntos de conexión pertinentes y convincentes entre las experiencias científicas y los intereses del público en general. Batman fue utilizado como el vehículo para popularizar los conceptos de la ciencia del ejercicio, la neurociencia y la fisiología en mi reciente libro, *Becoming Batman: the Possibility of a Superhero*. El objetivo de este libro era acercar el conocimiento científico al público en general mediante el uso de la imagen física y la impresión que todos tienen de Batman y sus habilidades y luego conectar esto con la ciencia subyacente. El objetivo de este artículo es compartir algunos de los detalles del proceso y los resultados positivos y negativos del uso de este enfoque con otros académicos que puedan estar interesados en actividades similares.

37) “Frozen-Ground Cartoons”: Permafrost comics as an innovative tool for polar outreach, education, and engagement

El permafrost ocupa 20 millones de kilómetros cuadrados de los paisajes de alta latitud y gran altitud de la Tierra. Estas regiones son sensibles al cambio climático y a las actividades humanas; por lo tanto, la investigación sobre el permafrost tiene una importancia científica y social considerable. Sin embargo, el público en general no conoce los resultados de esta investigación. Comunicar conceptos científicos es una tarea cada vez más importante en el mundo de la investigación. Con este proyecto pretendemos fomentar la comprensión de la investigación del permafrost entre un público más amplio, inspirar a futuros investigadores del permafrost y aumentar la conciencia pública y de la comunidad científica sobre la ciencia polar, la educación, el alcance y el compromiso.

### 38) Fun Science Teaching Materials on the Energy Transformation to Promote Students' Scientific Literacy

Este estudio tiene como objetivo desarrollar material didáctico de ciencias de la diversión sobre la transformación de la energía para promover la alfabetización científica de los estudiantes de secundaria. La investigación es un diseño en cuatro dimensiones de Investigación y Desarrollo. La validez de los materiales didácticos diseñados ha sido determinada por expertos y profesores de ciencias. Los logros de la alfabetización científica y las respuestas de los estudiantes se obtuvieron utilizando la prueba de alfabetización científica y el cuestionario en 95 estudiantes. El análisis de los datos se realizó en un descriptivo cuantitativo. El resultado de este estudio muestra que el diseño de la ciencia de la diversión contiene los conceptos de transformación energética que se presentan contextualmente en forma de tiras cómicas y canciones de ciencia.

### 39) Graphic Stories as Cultivators of Empathy in Medical Clerkship Education

Los objetivos de este estudio fueron evaluar cualitativamente los factores asociados con el cambio de empatía en la formación médica de oficialidad y investigar el efecto de historias gráficas sobre la autogestión de la diabetes sobre cómo afecta la empatía y los procesos de aprendizaje en los estudiantes de medicina. Métodos Se reclutaron estudiantes de tercer y cuarto año de medicina (empleados). Los participantes vieron dos cómics en línea, respondieron a encuestas de exploración de la empatía, y fueron entrevistados individualmente.

#### 40) I Want More and Better Cells! – An Outreach Project about Stem Cells and Its Impact on the General Population.

Aunque la ciencia y la tecnología tienen un impacto en todos los aspectos de las sociedades modernas, todavía hay un gran brecha entre la ciencia y la sociedad, lo que dificulta el pleno ejercicio de la ciudadanía. En el caso particular de la investigación biomédica el aumento de la inversión debe ir acompañado de esfuerzos paralelos en términos de información pública y compromiso. Hemos llevado a cabo un proyecto involucrando la producción y evaluación de contenidos educativos enfocados en las células madre – ilustrado crónicas de periódicos, entrevistas de radio, un cómic, y videos animados – y monitorearon su impacto en la población portuguesa.

#### 41) Integrated Science Learning Development of Model Inquiry Training Based on Comics

Esta investigación tiene como objetivo obtener el producto del dispositivo de aprendizaje de la ciencia. La investigación método es la investigación y el desarrollo (I + D) investigación con el modelo de Gall, y Borg. Este estudio encuentra un modelo de aprendizaje de ciencias integrado de libros de cómic. Este producto ha sido validado por un equipo de expertos que declaran que los ingredientes han sido realizados por métodos y procedimientos para el análisis de las necesidades, la planificación, la evaluación y las etapas de utilización de los materiales para el estudio.

#### 42) Learning Crude Oil by Using Scientific Literacy Comics

Se ha llevado a cabo una investigación para crear un medio de aprendizaje del petróleo crudo en forma de la alfabetización científica orientada en los cómics. El producto se hizo basado en diagramas de flujo y guiones gráficos que han sido validados por validadores expertos. It is suggested to do an expanded experiment to examine its affectivity in improving scientific literacy and growing students' awareness about the issues of energy crisis and the impacts of fossil fuel use on the environment.

#### 43) Microbiology can be comic

El movimiento de vacilación de la vacuna y el alarmante aumento de los antimicrobianos resistencia debido al uso excesivo y mal uso de los antibióticos son solo dos ejemplos de cuánto trabajo se necesita para hacer que nuestra sociedad conocimientos en temas relacionados con la microbiología. Teniendo en cuenta los desafíos de la comunicación de una disciplina rodeada de conceptos erróneos, que estudia el papel de los organismos vivos que no se pueden ver a simple vista, tenemos que explorar diferentes estrategias para contribuir eficazmente a la alfabetización microbiológica en nuestra sociedad.

#### 44) Mitochondrial Follies: A Short Journey in Life and Energy

La comunicación a través de los cómics puede ser una estrategia de múltiples capas eficaz. La narración de este cómic transporta al lector a un realista, si abreviado, vista de la biología mitocondrial mezclada con las cambiantes rutinas diarias de Lara. Lara es una paciente ficticia con un trastorno metabólico no revelado, que la salud en sus propias manos, interesándose en el metabolismo y las mitocondrias para comprender mejor los procesos mediante los cuales los organismos vivos convierten los alimentos en energía a nivel celular. Además, su objetivo también es comunicar este fascinante mundo a amigos y colegas, de una manera que también puede ser útil para los científicos y el público en general.

#### 45) Presenting Safety Topics Using a Graphic Novel, Manga, To Effectively Teach Chemical Safety to Students in Japan, Taiwan, and Thailand

La eficacia de manga ha sido validada para química educación sobre seguridad para estudiantes de tres universidades de Japón, Taiwán y Tailandia. Se pidió a los estudiantes que examinaran foto para identificar peligros y comportamientos peligrosos que pueden potencialmente conducir a accidentes antes y después de leer un manga que explica el riesgo de incendios y explosiones. El peligros/comportamientos peligrosos se clasificaron en siete categorías y el número medio de peligros/riesgos conductas se determinaron en cada categoría. Las diferencias antes y después de la lección se analizaron para evaluar la eficacia del manga como herramienta educativa.

#### 46) Reading and (Re)writing Science Comics: A Study of Informational Texts

En el espíritu de desafiar un plan de estudios dado y convencional comprensión de textos informativos, estudiantes de quinto grado estudiaron textos en la serie Science Comics, convirtiéndose en expertos creativos y, en última instancia, compositores de cómics informativos de no ficción.

#### 47) Research on Design Style of Cartoon Medical Science Interface Based on Kansei Engineering

En este estudio, analizamos la relación entre el gusto del usuario por cómics de ciencia médica y sus elementos de diseño y estilos de diseño basados en Kansei método de ingeniería, y exploró lo que los estilos eran más populares, lo que estilo fue más relevante para el tratamiento médico y la ciencia popular. Este estudio objetivo de inspirar el diseño de cómics de ciencia médica. El método del grupo de enfoque fue utilizado en la etapa inicial. Se utilizó una encuesta basada en el cuestionario.

#### 48) Rich pictures: a companion method for qualitative research in medical education

Dentro de las ciencias sociales, los investigadores se basan cada vez más en métodos para explorar fenómenos complejos y entender cómo las personas experimentan y dan significado de esta complejidad. Entre los variedad de métodos visuales disponibles, ricos imágenes están empezando a ganar tracción en investigación en educación para profesiones de la salud (HPE). In the current paper, we aim to map out the background, describe the process and share some reflective insights of using rich pictures as a data collection method.

#### 49) Science Comics Superpowers

En este artículo se explica cómo los comunicadores están convirtiendo los cómics para hacer popular la ciencia. Es interesante leer por qué algunas elecciones son tan importantes para hacer de un cómic una herramienta realmente efectiva en la comunicación de la ciencia.

#### 50) Sequential Science: A Guide to Communication Through Comics

En este artículo, se da una breve justificación para el uso de los cómics de ciencia en cinco cualidades que son motivadoras, visuales, permanentes, intermedias y populares. Proyectos de investigación que han estudiado la eficacia de los cómics se resumen, pero en muchos casos estos estudios tienen un pequeño tamaño de la muestra o grupos de control de falta. Tras una introducción a los cómics científicos y su aplicación, Se proporcionan directrices y recursos para ayudar a los comunicadores científicos a producir sus propios cómics y estudios educativos sobre su uso.

#### 51) Teaching with Comics: A Course for Fourth-Year Medical Students

Este artículo describe un curso popular e innovador sobre cómics y medicina para estudiantes de cuarto año de medicina. En este curso, los estudiantes aprenden a leer críticamente cómics de longitud de libro, así como crear sus propias historias utilizando el formato de cómics. La razón para el curso, se describen su contenido y formato general, y los métodos de enseñanza. Finalmente, el autor ofrece algunas reflexiones sobre por qué este medio resuena tan poderosamente con estudiantes de medicina.

#### 52) “Tempera-Tour”: Developing an Alternative Comic as Media Learning for Temperature and Heat Topics Through Traveling Story

Este estudio tiene como objetivo desarrollar cómics sobre la teoría de la temperatura y el calor por incorporando la historia de viaje en su entrega. Los cómics están diseñados para ser utilizados como la física medios de aprendizaje para la clase XI de la escuela secundaria. Este desarrollo consta de cuatro etapas, a saber: definir, diseñar, desarrollar y difundir. El valor global medio obtenido muestra que la calidad de la física cómica interpretación de la puntuación de la temperatura y el material de calor se clasifica muy bien. Sobre la base de la prueba de viabilidad y el ensayo de este producto cómico, se declara factible para ser utilizado como medio de aprendizaje de la física.

#### 53) Ten simple rules for drawing scientific comics

Aquí, nos centramos en tres oportunidades clave proporcionadas por los cómics. Primero, presentar ideas visualmente es un punto de entrada eficaz a las ideas complejas. En segundo lugar, el uso de la metáfora hace que la información memorables en formas que las descripciones literales no.

Tercero, aunque no todos los temas y situaciones son adecuados para el uso del humor, empleando el humor puede involucrar a no expertos y expertos por igual. Es tanto reduce los niveles de intimidación asociados con la presentación de resultados científicos a una amplia audiencia y rompe las barreras a la comprensión que a menudo vienen con la nueva ciencia.

#### 54) The development of Gravity Comic Learning Media Based on Gorontalo Culture

El objetivo del estudio fue desarrollar los medios de aprendizaje del cómic Gravity basados en la cultura Gorontalo para estudiantes de V grado de la Escuela Primaria. El tipo de investigación fue el desarrollo que se refiere al diseño del modelo 4-D según Thiagarajan, Semmel y Semmel (1974), que consistió en 4 etapas; definir, diseñar, desarrollar y difundir. Los resultados de este estudio indicaron que el cómic de gravedad desarrollado es válido y podría aumentar las respuestas de los estudiantes al aprendizaje. Este cómic cultural introduce las culturas regionales de Gorontalo.

#### 55) The effect of STAD learning model and science comics on cognitive students achievement

Esta investigación tuvo como objetivo determinar el efecto del modelo de aprendizaje y la ciencia de STAD los estudiantes cognitivos. El tipo de investigación fue cuasi-experimental. La el diseño de la investigación utilizó el diseño no equivalente del grupo de control que fue consistido en dos grupos experimentales y un grupo de control. La muestra en esta investigación incluyó 84 grado VIII estudiantes tomados de la Escuela Secundaria Junior en Manokwari. La técnica de los datos recogidos utilizados prueba de rendimiento.

#### 56) The Impact of Retelling e-Stories on Elementary Students' Attitude Toward Scientists and Inventors

Historia con una serie de dibujos para representar conceptos científicos abstractos pueden mejorar el aprendizaje, especialmente para estudiantes de primaria. Este estudio se llevó a cabo con un objetivo de descubrir si los estudiantes femeninos y masculinos muy variado en su actitud después de volver a contar local y e-historias globales de la feria de la ciencia y los inventos a través del

cómic. La estudio incluyó veinticuatro temas que comprenden igual número de hombres y mujeres de 10 a 11 años de edad de una escuela pública en una comunidad rural.

57) The influences of comics' media application in students' scientific perspectives attitude

Este estudio tiene como objetivo estudiar el efecto del uso de los medios en los estudiantes científicos. Este el estudio utiliza un método cuasi-experimental con un diseño del grupo de control del pretest-posttest, este estudio orientación a la clase experimental y a la clase control. La población en este estudio fue la estudiantes de décimo grado del departamento de ciencias en Senior High School 1 Sigli en el año académico 2018/2019, mientras que el muestreo se realizó utilizando técnicas de muestreo aleatorio y las muestras de grado diez-dos para la clase experimental y grado diez-tres para la clase de control se tomaron 28 personas cada uno.

58) The Instructional-Based Andro-Web Comics on Work and Energy Topic for Senior High School Students

Este estudio tuvo como objetivo determinar la validación de los cómics Andro-web sobre el tema Trabajo y Energía. Para lograr el objetivo, este estudio fue diseñado haciendo referencia al modelo ADDIE, es decir, Análisis, Diseño, Desarrollo o Producción, Implementación o Entrega, y Evaluaciones. Se puede acceder a los cómics Andro-web utilizando una aplicación de cómic digital, Webtoon. Se puede descargar en la tienda Play o en la tienda App. Andro-web comics es compatible con todos los dispositivos, incluidos los dispositivos móviles (teléfono, tableta, iPod, PDA y teléfono inteligente) y PC/ Mac. Basado en el juicio experto, los cómics Andro-web son adecuados para el aprendizaje. El Andro-Web Comics basado en la instrucción es un material didáctico alternativo para que los profesores atraigan la atención de los estudiantes y les ayuden a estudiar de forma fácil y práctica, ya que proporciona una ilustración interesante con un lenguaje sencillo.

59) The role of comics in public health communication during the COVID-19 pandemic

A medida que la pandemia COVID-19 barre el mundo, las medidas de contención en evolución han creado una necesidad sin precedentes de una comunicación científica rápida y eficaz que involucrar al público en un cambio de comportamiento a escala masiva. Organismos de salud pública, gobiernos, medios de comunicación se han convertido a los cómics en este momento de necesidad y encontraron una y un medio capaz de responder al desafío. Los cómics se han utilizado como vehículo para presentar la ciencia en narrativas gráficas, aprovechando el poder de las imágenes, el texto y la narración en un formato atractivo. Este documento de perspectiva explora el papel emergente y la investigación apoyo a los cómics como herramienta de salud pública durante la pandemia COVID-19.

#### 60) The potential of comics in science communication

Las narrativas visuales, como los cómics y las animaciones, se están convirtiendo cada vez más popular como herramienta para la educación científica y la comunicación. Combinando los beneficios de la visualización con poderosas metáforas y narrativas de carácter, los cómics tienen el potencial de hacer científica temas más accesibles y atractivos para un público más amplio. Mientras que muchos autores han experimentado con este medio, la investigación empírica sobre la efectos de las narrativas visuales en la comunicación científica sigue siendo escasa. Este resumen la evidencia disponible en todas las disciplinas, destacando los mecanismos cognitivos que pueden subyacer a los efectos de las narrativas visuales.

#### 61) The use of Comic Strips in the teaching of Software Engineering

Los estudiantes de Ciencias de la Computación suelen llevar prácticas actividades para la identificación de los requisitos de software y para entender las reglas de negocio de la organización. Dentro de este contexto, durante los dos últimos años hemos llevado a cabo un proyecto con la industria del software y los estudiantes de Ciencias de la Computación, utilizando tiras cómicas para apoyar la especificación de requisitos de software. Hemos creado un método de simulación de escenarios para el uso de cómic tiras y un lenguaje para la especificación de requisitos utilizando cómic tiras. También propusimos una guía para tiras cómicas para apoyar estudiantes y profesionales que crean requisitos de software.

## 62) The Use of Comics in Experimental Instructions in a Non-formal Chemistry Learning Context

El trabajo práctico es un componente esencial de la educación científica. Sin embargo, los enfoques insuficientes hacia el trabajo práctico pueden limitar el potencial que tiene para promover tanto la motivación de los estudiantes como el interés situacional. Una sugerencia para resolver este problema es utilizar formas alternativas de instrucción de laboratorio que sean motivadoras y fáciles de comprender. Una posible vía es el mayor uso de información pictórica en lugar de enfoques basados en texto puro. Este artículo describe un estudio de las percepciones de los estudiantes de 6to grado (rango de edad 11-13 años) de usar instrucciones de laboratorio basadas en cómics en un ambiente de aprendizaje de laboratorio basado en la investigación no formal que se centró en la química de la calidad del agua. Se realizaron entrevistas semiestructuradas de pares de estudiantes durante sus visitas al laboratorio no formal.

## 63) The Use of Educational Comics in Learning Anatomy Among Multiple Student Groups

Para los estudiantes que se están preparando para emprender un curso de anatomía formal, cómics educativos sobre anatomía básica puede servir como una revisión concisa y accesible del material. Para otros estudiantes, estos cómics pueden servir como una introducción útil y divertido al cuerpo humano. La objetivo de los cómics en este estudio fue promover una comprensión de los anatomía humana a través del autoaprendizaje entre los estudiantes. Basado en experiencia docente, estos cómics de anatomía se produjeron en un estilo simple y directo.

## 64) Understanding Partitioning and Sequence in Data-Driven Storytelling

El estilo narrativo de la tira cómica es un método eficaz para narración de historias basada en datos. Sin embargo, seguramente no es suficiente con añadir algunas burbujas de discurso y imágenes prediseñadas a su presentación de PowerPoint a su vez en un cómic de datos? En este documento, investigamos aspectos de la partición y la secuencia como mecanismos fundamentales para la narración de historietas: la fragmentación de imágenes complejas en piezas manejables, y la organización de ellos en un orden significativo, respectivamente.

## 8.2. Cómics: Arquímedes y el misterio della corona











