

Evolución de la iconografía del diablo cartesiano y su uso educativo

José Carrasquer Zamora¹, Adrián Ponz Miranda y María Victoria Álvarez Sevilla

Grupo de Investigación Beagle, Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Ciencias Sociales y Humanas, Universidad de Zaragoza, España. ¹Email: josecarr@unizar.es.

Resumen: Desde el scherzo descrito por Magiotti al diablo cartesiano o ludió actual, su construcción y por tanto también su representación gráfica ha sido muy diversa. A lo largo de sus trescientos cincuenta años de existencia siempre ha sido utilizado para demostrar, explicar o divulgar conocimientos científicos, sin olvidar su utilización lúdica, mágica, religiosa o filosófica. Las diversas representaciones gráficas que se encuentran en la bibliografía, ayudan a desvelar parte de su historia y su utilización en los diversos ámbitos. El estudio iconográfico de las diversas representaciones se manifiesta como una posible herramienta para su estudio histórico, para la comprensión científica de su funcionamiento y para el acercamiento a la naturaleza de la ciencia. La utilización didáctica del aparato ha sido un hecho histórico que no ha perdido vigencia.

Palabras clave: diablo cartesiano, ludió, historia de la ciencia, iconografía, utilización didáctica.

Title: Evolution of the iconography of the Cartesian devil and educational use.

Abstract: From the scherzo described by Magiotti to the current Cartesian Devil or Ludion, its construction and therefore its graphical representation has been really diverse. Throughout its three hundred and fifty years of existence has always been used to demonstrate, explain or disseminate scientific knowledge. Beside this, its recreational, magic, religious or philosophical applications should be also mentioned. Graphical representations found in the literature help to discover part of their history as well as their diverse uses. The iconographic study of the various representations of the Ludion is manifested as a possible tool to study its history, for a better scientific understanding of its operation and also for the approach to the nature of science. The educational use of the device has been a historical fact that today still remains valid.

Keywords: cartesian devil, ludion, history of science, iconography, educational use.

Introducción

La historia del diablo cartesiano o ludió ha estado rodeada de debates desde su invención. Fueron los intentos encaminados a la construcción de termoscopios y baroscopios por parte de Galileo y la Accademia del

Cimento, los que tuvieron que ver con la evolución y descubrimiento de este aparato. Según la mayoría de los autores, es la publicación de Magiotti (1648) acerca de la incompresibilidad del agua, la que marca el comienzo de la historia del diablo Cartesiano (Govi, 1879). Hasta el trabajo de Magiotti, en ningún documento conocido, quedó plasmada por escrito la explicación del funcionamiento del aparato o su representación mediante imágenes. Las discusiones acerca de quién fue su inventor, de quién lo denominó diablo Cartesiano o ludión, también han sido motivo de diversas publicaciones (Boffito, 1929, 127; Gliozzi, 1930).

Actualmente se utiliza en las aulas de diversos niveles educativos, museos de la ciencia y talleres divulgativos (Oliva, Matos y Acevedo, 2008, 183), presentándolo como un ejemplo de los Principios de Arquímedes y de Pascal así como una analogía de la vejiga natatoria de los peces.

La documentación histórica que aquí se presenta se considera que es útil para trabajarla en la formación del profesorado, tanto con maestros como con profesorado de Educación Secundaria.

En este trabajo se describe la evolución del diablo cartesiano en su morfología y usos, su inicial interés científico y su posterior potencial divulgador y didáctico. Se presenta una revisión de los autores más relevantes que escribieron acerca del diablillo Cartesiano desde un planteamiento científico, con especial énfasis en las representaciones gráficas, utilizándolas como hilo conductor del argumento histórico, dado el interés que también tienen para extraer conclusiones acerca de la historia del aparato.

Magiotti, el descubridor oficial

Raffaello Magiotti, sacerdote de la orden de Santa Lucía della Chiavica, fue un científico seguidor de las ideas de Galileo y afín a la Accademia del Cimento, que contaba con el mecenazgo de los Medici. Sus colaboraciones fueron relevantes y reconocidas, estando presentes en las obras de otros matemáticos y físicos de su época. Sin embargo sólo dejó una obra impresa (Magiotti, 1648), un trabajo compuesto de una lámina y veintitrés páginas, sobre lo que aparentaban ser unos sencillos problemas que él incluso denominó *scherzi*, es decir juegos o distracciones. En ese momento histórico otros investigadores con los que Magiotti tenía relación como Castelli, Torricelli, Nardi, Kircher, Borelli, Pascal, Viviani, etc., aportaban relevantes avances para la ciencia y colaboraban notablemente en su difusión.

En el trabajo de Magiotti aparecen las primeras explicaciones y representaciones, que se consideran como ejemplos del primer diablillo cartesiano, y que constituyen el modelo inicial, al que se irán incorporando a lo largo del tiempo una serie de cambios, que se pueden apreciar en los diversos modelos de diablillos cartesianos que se utilizan en la actualidad.

Los problemas a los que responde Magiotti con su trabajo, habían sido planteados en público por Ferdinando II, en un Congreso de la Accademia del Cimento. Propuso diversos problemas, entre ellos, algunos referentes a jarritas huecas perforadas y a peces de cristal que se movían verticalmente en recipientes con agua. Viviani, discípulo directo de Galileo, compañero de

Torricelli y presente en el indicado Congreso, dio una primera explicación a los problemas propuestos centrándose en que los cambios de temperatura eran los responsables (Caverni, 1891, 456-9); pero estas explicaciones ya eran conocidas desde Galileo. Los problemas también fueron enviados a otros eminentes científicos no presentes en el Congreso como Kircher, Magiotti e Imperiali.

Magiotti (1648, 12-13) aborda en su publicación el problema de los dos pececitos que se desplazan verticalmente en el interior de una copa llena de agua. Uno de ellos tiene una pequeña abertura en la cabeza que comunica con una oquedad en su interior; el otro está cerrado. Los peces se mueven dentro del vaso en sentido contrario en función de la temperatura del agua; con el agua templada el pez hueco queda arriba y el cerrado abajo; al enfriarse el agua el pez hueco baja y el cerrado sube (Figura 1a). Magiotti recomienda, para un mejor funcionamiento, en caso de que los peces cerrados floten en la superficie, se lastren lo suficiente para que caigan al fondo. En el caso de los peces abiertos, sugiere que la abertura se realice en la parte inferior, cuello o barbilla, evitando así que la propia burbuja de aire impida la entrada y salida del agua. Este experimento de los peces huecos y perforados, con la explicación dada por Magiotti puede considerarse como la primera figura de cristal que funciona como un termoscopio o baroscopio, pero no como un diablillo cartesiano, dado que están sumergidos en recipientes abiertos, influyendo en ellos la presión atmosférica y las variaciones de la temperatura. Sin embargo serán estas figuras de cristal u otras similares, huecas y perforadas, representando animales o seres, reales o no, las que se utilizarán posteriormente para la fabricación de diablos cartesianos.

En otro experimento, Magiotti (1648, 13-14) representa por primera vez y con las explicaciones de su funcionamiento, el que se considera el primer diablillo cartesiano (Figura 1b). La presión ejercida sobre el agua, contenida en un cilindro de vidrio abierto en la parte superior, con la palma de la mano, hace descender o ascender rápidamente y a voluntad del operario una jarrita o caraffina. La jarrita está lastrada con hilo de latón o plomo, para que su posición de flotación en el agua sea con el canal hacia abajo y en la parte superior del recipiente. La presión sobre el agua que llena el cilindro hará que se comprima el aire del interior de la jarrita entrando más agua y por lo tanto hundiéndose. Si cede la presión de la mano, saldrá agua de la jarrita y volverá a subir. En la explicación del experimento, Magiotti insiste que su descubrimiento no es que la jarrita se mueva por variaciones de la temperatura, hecho ya conocido, sino que la incomprensibilidad del agua, sumada a la elasticidad del aire, es la explicación del aumento de la densidad de la jarrita y por lo tanto de su movimiento descendente, ascendente o su estabilidad en el nivel deseado por el operario.

A pesar de que Magiotti distribuyó su trabajo impreso, tuvo muy poca difusión y se puede decir que de forma general cayó en el olvido. Se desconoce su tirada y distribución concreta. El trabajo se volvió a imprimir al menos en dos ocasiones posteriores. La primera por Targioni-Tozzetti (1780) y la segunda por Belloni (1963).

Sin embargo en la segunda mitad del siglo XVII los libros de tres autores de la Compañía de Jesús, Kircher, Schott y Lana, reproducirán el

experimento y en estos casos con gran repercusión en científicos del siglo siguiente.

Los Hermanos Jesuitas y Sturm

Kircher fue uno de los físicos más importantes del siglo XVII. Defensor incondicional de la experimentación, no concebía la aceptación de un hecho sin la prueba experimental correspondiente. Fue discípulo de Niccolò Cabeo y desde el año 1634 fue profesor de diversas materias en el denominado College di Roma. Por el museo del Colegio Romano pasaban todas aquellas personas con interés por la ciencia, los nuevos experimentos y por sus explicaciones, aunque Kircher no daba siempre todas las esperadas. Entre los visitantes habituales estaban Schott y Lana, amigos y colaboradores (Heilbron, 1979; Belloni, 1963).

Kircher (1654, 128-131), también respondió a los problemas planteados por Ferdinando II, aunque años más tarde. En esencia estaba de acuerdo con las explicaciones que ya había publicado Magiotti y propone experiencias similares para demostrarlos, incluyendo más aspectos de entretenimiento; también propone su utilización religiosa con imágenes de ángeles y diablos además de otras figuras humanas, aves y jarritas. La presión ejercida sobre el agua la realiza mediante el dedo pulgar en un recipiente de vidrio al que se ha estrechado el cuello y la boca al máximo, pero permitiendo la entrada de la figuras (Figura 1c). También utiliza recipientes totalmente cerrados, en los que se pone de manifiesto la acción de los cambios de temperatura de forma inversa a si el recipiente está abierto. La utilización del diablo por Kircher no tiene nada que ver con la posterior denominación de diablo cartesiano (Carrasquer, Ponz, Álvarez y Uría, en prensa).

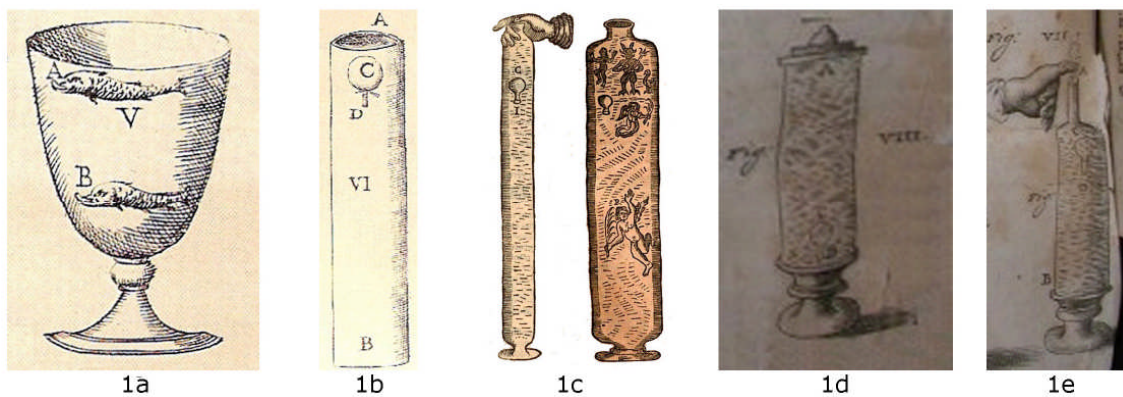


Figura 1.- a) Magiotti, 1648; b) Magiotti, 1648; c) Kircher, 1654; d) Schott, 1657; e) Schott, 1657.

En estos problemas resueltos por Magiotti y Kircher (Figuras 1b y 1c), que son los que darán lugar a la experiencia que años más tarde se denominará diablo cartesiano, no aparecen recipientes cerrados permanentemente con membranas o pieles atadas a una de las bocas; los autores ejercen la presión directamente con la palma de la mano o con el pulgar. En otros planteamientos propuestos por ellos en estas mismas

publicaciones, también aparecen recipientes cerrados herméticamente, pero los aparatos funcionan como termoscopios.

Schott (1657, 279) creará una confusión histórica. En el intento de dar mayor relevancia a las explicaciones de Kircher, identifica al trabajo de Magiotti como experimento florentino (Figura 1d) y al de Kircher como experimento romano (Figura 1e). Al primero le asigna un recipiente siempre cerrado y con paredes rígidas, siendo las variaciones de la temperatura las que exclusivamente hacen mover la jarrita o globo de vidrio. Para el experimento romano, el que asigna a Kircher, reserva el verdadero descubrimiento de Magiotti, es decir, la presión sobre el agua es la que provoca movimientos rápidos de la jarrita a voluntad del operario. Schott también añadirá un apartado titulado "Ludicra varia ex Romano experimento", en el que hace énfasis en la utilización de las figuras de cristal huecas citadas por Kircher como juego o entretenimiento. Para mayor confusión también se denominaba con el nombre de experimento florentino al que Torricelli y sus seguidores utilizaban para demostrar y medir el peso del aire.

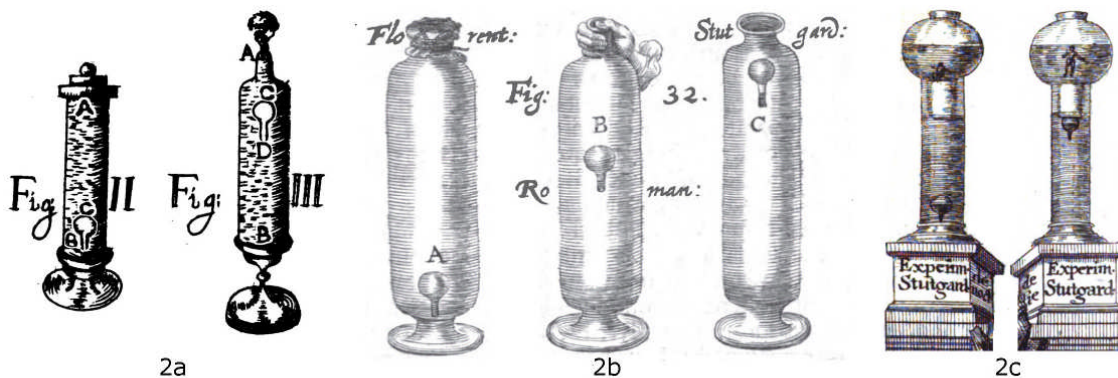


Figura 2.- a) Lana, 1686; b) Sturm, 1685; c) Reisel, 1685.

En la primera reedición del trabajo de Magiotti, Targioni-Tozzetti (1780), el editor dedica casi dos páginas para aclarar algunos aspectos del trabajo y de lo escrito por Schott, recalcando que éste, al igual de Kircher, también era de la Compañía de Jesús, dejando entrever que sus planteamientos no eran imparciales. Le corrige el año de envío del problema por parte del Gran Duque, no siendo en 1649, sino 1648. Asimismo recrimina que Schott escriba en su trabajo que Magiotti pertenecía a la Lynceorum Schola para evitar decir que era afín a la Accademia del Cimento.

El padre Lana seguirá en sus libros los experimentos de Kircher y Schott, no aclarando el error de éste último, al igual que otros autores posteriores que tampoco lo hicieron (Figura 2a). Sin embargo insiste en el protagonismo del Colegio Romano en la utilización de las figuras de Kircher, "[...] diversas Icunculas [...] statuas hominum, piscium, volucrum, Angelorum ac demonum, ex vitro diversimo de colorato [...] ludicra nobis spectacula exhibebant [...]" (Lana, 1686, 175-177).

Sturm (1685, 64, 67, 167), con la gran difusión de sus libros y sus diversas ediciones, da un impulso definitivo a la utilización de la denominación experimento florentino y romano, y además añade uno

nuevo, el stutgardiano (Figura 2b). Por primera vez aparece en una representación gráfica el experimento de Magiotti, el denominado por Schott florentino, con una piel cerrando el recipiente. Sin embargo en el texto no se hace mención a la posibilidad de ejercer presión sobre ella, por lo que hay que interpretar que además de la piel atada existía un tapón.

Salomón Reisel (1685), consejero médico del Duque de Wirtemberg, había publicado un trabajo sobre el Siphon Würtembergicus, en el que incorporaba un experimento que denomina stutgardiano (Figura 2c), que se diferenciaba de los experimentos anteriores en que en ningún momento el recipiente estaba cerrado o sometido a presión artificial (funcionaba como un termoscopio o baroscopio). La jarrita hueca se sumergía por el frío, durante la noche, y se elevaba con el calor, durante el día, comportamiento contrario al que sucedía cuando el recipiente está herméticamente cerrado.

Otros autores citaban al experimento sin nombre concreto. Por ejemplo Borelli, (1670, 43), de la Accademia del Cimento, lo llamará Prop. XV (Figura 3a). En otros textos de la época aparece sin denominación alguna como en Dechalles (1674, 450) que cierra el recipiente con una vejiga de cerdo (Figura 3b), o en Poliniere, 1709 (Figura 3c) que continua utilizando el dedo pulgar para ejercer la presión.

Puede observarse que durante los cincuenta primeros años de existencia del diablillo, muy pocos autores representan estatuillas o figuras de personas o animales huecas. Únicamente aparecen en Kircher y como ya se ha dicho con una intención exclusivamente de utilización religiosa. Sturm también dibuja un hombre y una cigüeña o ave similar, pero macizas y colgantes de la ampolla hueca de cristal, asimismo Poliniere, ya en el XVIII, representa una persona hueca; la ampolla de cristal que también representa, como novedad no es esférica sino en forma de pequeña botella. Todas las demás son ampollas de vidrio o jarritas con un canal inferior.

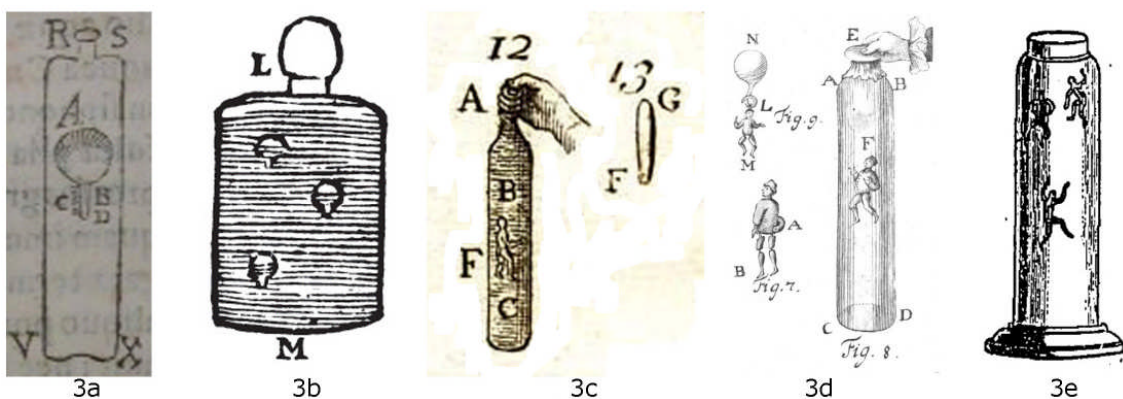


Figura 3.- a) Borelli, 1670; b) Dechalles, 1674; c) Poliniere, 1709; d) Wolff, 1722; e) Moulidars, 1888.

Para entender la utilización mayoritaria de ampollas para la realización de la experiencia, hay que tener presente la dificultad para la fabricación de las figuras huecas y además comunicadas mediante un pequeño orificio con el exterior. Era necesario disponer de un soplador vidrio (il soffia, el sopla) con habilidad y suficiente entrenamiento en su fabricación. Precisamente en esa época se desarrolla este oficio dada la necesidad de fabricar instrumentos

para el laboratorio, concretamente, los avances de la termometría se debieron en parte a la habilidad de los fabricantes de estos aparatos de vidrio.

El aparato de Reisel es especial dado que la figurita humana es independiente de la ampolla de cristal, si bien es empujada por ella.

Tres tipos de diablillos

Ya en el siglo XVIII las jarritas van siendo sustituidas por las figuras de esmalte o vidrio. Wolff (1722, 29-44) describe tres tipos de diablillos (Figura 3d), a los que denomina pequeños buceadores, *táucherlein*. Unos completamente huecos con pequeñas perforaciones en los pies; otros macizos, que cuelgan de una bola de vidrio hueca y abierta a través de una especie de cola en forma de gancho hueco mediante el cual también sustenta a la figura y por el que entra el agua; el tercer tipo también hueco, tiene una cola perforada, un tubo, que gira horizontalmente alrededor del cuerpo y por donde entra el agua, en lugar de por los pies. Este último tipo tiene la particularidad de que la pequeña cola curvada hace que la figura gire sobre sus pequeños pies revolviéndose cuando el agua sale. Según Wolff los diablillos funcionan mejor si las piernas están articuladas mediante alambres. Posteriormente esta misma clasificación de los diablillos será utilizada por Musschenbroek (1739, 677-8).

Las primeras figuras de cristal huecas tenían el orificio de comunicación en la parte inferior, en el pie, "in quorum pedibus subtile foramen relinquatur" (Kircher, 1654, 131). Este tipo de imágenes con las piernas huecas y el orificio en el pie, perdurará en el tiempo (Mouillard, 1888, 497) (Figura 3e).

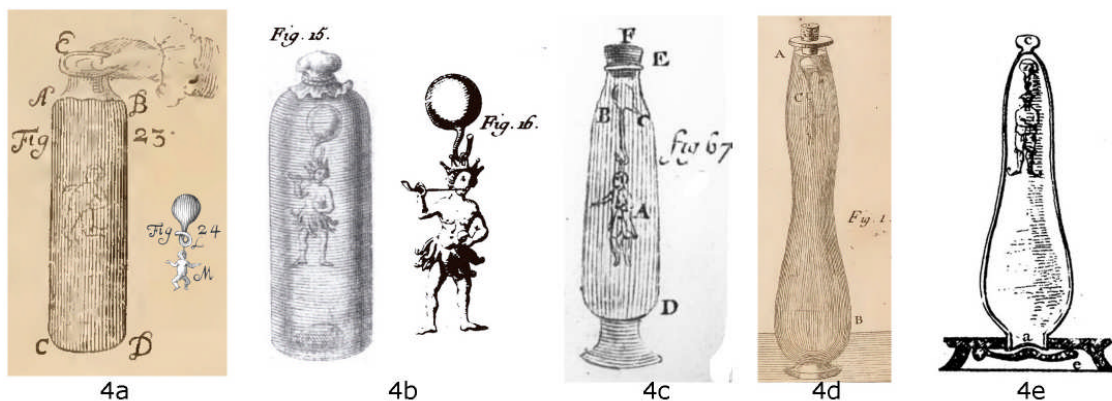


Figura 4.- a) Tümmig, 1725; b) Musschenbroek, 1739; c) De La Fond, 1767; d) De La Fond, 1775; e) Poujoux, 1805.

Como se ha indicado anteriormente, la dificultad para fabricar las figuras huecas hizo que fueran más abundantes las imágenes macizas colgadas de ampollas huecas y perforadas. Estos modelos los representa el propio Wolff (1722) y Tümmig (1725), con una imagen similar y el mismo tipo de burbuja de cristal con gancho perforado (Figura 4a); también Musschenbroek (1739) (Figura 4b) representa un gancho perforado terminando la ampolla que sustenta la imagen de un bufón coronado y

fumando en pipa. Otros ejemplos de ampollas perforadas se encuentran en De La Fond (1767; 1775), abierta mediante un tubo en la parte media de la ampolla, dirigido hacia abajo, siendo el gancho, para sustentar la figura, macizo (Figuras 4c y 4d). Otros muchos autores representan las ampollas con la perforación en otros lugares como Poujoulx (1805) (Figura 4e); Jamieson (1837) con la burbuja incorporada en la parte superior de la cabeza, (Figura 5a); Bird (1848) (Figura 5b); Ganot, 1866 (Figura 5c); Deschanel, 1869 (Figura 5d); Drion et Fermet, 1869 (Figura 5e).

Entre la diversidad de formas para fabricar ludiones, una predominó industrialmente con el paso de los años y se hizo la más popular en el siglo XX; es la que tiene forma de diablillo y está fabricada en cristal, con un hueco en el interior, que se comunica con el agua mediante un tubo ubicado en la cola de la figura, con un diseño en forma espiral que lo hace girar sobre su eje mayor al desplazarse verticalmente. Uno de los primeros autores en reflejar esta mejora es Christian Wolff.

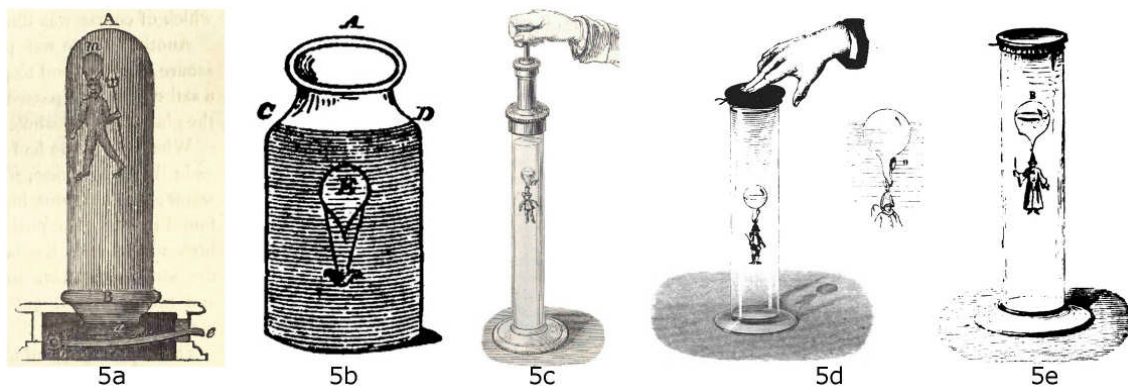


Figura 5.- a) Jamieson, 1837; b) Bird, 1848; c) Ganot, 1866; d) Deschanel, 1869; e) Drion et Fermet, 1869.

A pesar de que Wolff, utilice también el nombre de Diabolos Cartesianos, Cartesianische Teuffel, e incluya el rabo retorcido y perforado, no lo hace sobre la imagen del diablo, sino sobre la de un hombre con sombrero, imagen similar a la representada por 'sGravesande (1720) en la figura 6a.

Federico Hoffmann (1695, 15-6), ya había citado un experimento basado en el stutgardiano y florentino y descritos por Sturm. En un vaso lleno de agua hasta la parte superior se introduce una figura de vidrio, *virunculus vitreus*, dotada de una cola hueca con la abertura del tamaño de un pelo y que le permite mantenerse en equilibrio en el agua, si bien no explicita su giro alrededor del cuerpo, "Nimirum vitrum aqua repleatur usque ad súmmum, cui imponatur virunculus vitreus cavus praeditus cauda in qua sit apertura magnitudini pili, Ille autem cum aqua sit in aequilibrio".

Hay que considerar la influencia que debieron tener las industrias de artesanía del vidrio alemanas e italianas, en la difusión de las figuras huecas de cristal. La fabricación de estas imágenes tuvo la suficiente relevancia como para aparecer entre los productos citados en las enciclopedias alemanas de economía (Wolf, 1768; Krüniz, 1779). Johan Georg Wolf, director de la Academia Comercial de Viena, edita un libro en 1768 en el que se recogen diversas actividades comerciales con repercusión

económica, entre ellas la fabricación de vidrio fundido y soplado para laboratorio. Entre los aparatos citados aparece el cartesianischen teufel con aspecto de sátiro (Figura 6b). A pesar de que en el dibujo no se aprecia la cola, en el texto se indica con precisión cómo se debe fabricar, con aspecto de serpiente hueca, y cómo se ha de fundir al cuerpo previamente ahuecado.

Por su parte, Wolff (1722) cita a la ciudad de Nuremberg como productora de figuras de cristal huecas para estos usos, de diversos colores y formas.

Otro centro vidriero artesanal a considerar es la ciudad de Lauscha, en Turingia. Desde finales del siglo XVI, se implantaron las primeras empresas de soplado de vidrio. En el siglo XVIII, tomaron relevancia la fabricación de adornos navideños de cristal, haciendo olvidar, en parte, la fabricación de otros productos artesanos. Sin embargo la fabricación de teuffel de vidrio sigue siendo uno de los productos típicos como recuerdo o souvenirs y entre ellos los diablillos cartesianos.

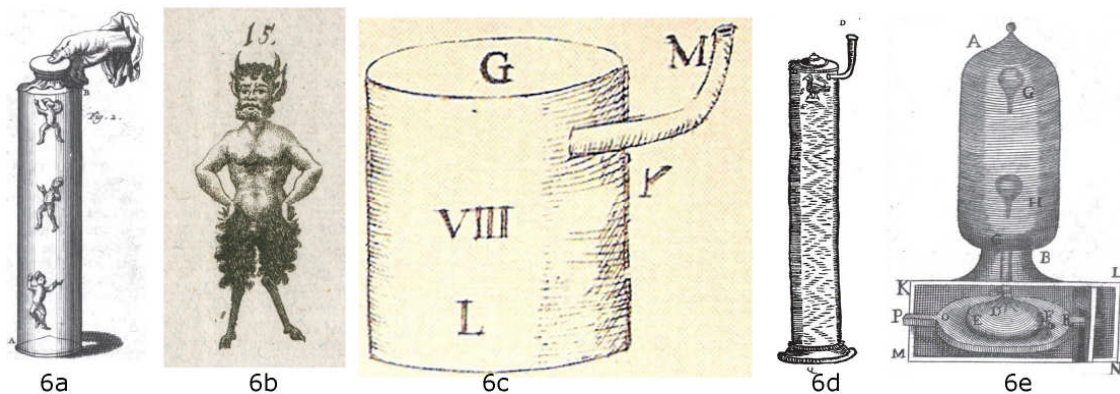


Figura 6.- a) 'sGravesande, 1720; b) Wolf, 1768; c) Magiotti, 1648; d) Kircher, 1654; e) Monconys, 1665.

El diablo cartesiano y la magia

La utilización del diablo cartesiano como recurso de magia y de espectáculo comienza desde su descripción por Magiotti. La sofisticación del engaño fue en aumento para evitar que el espectador, sorprendido, pudiera averiguar cuál era el motivo del baile de las figuritas.

Magiotti propone la ocultación de la manipulación del operario en una habitación contigua, presionando el agua a través de un brazo o respiradero, para conseguir que el espectáculo sea más sorprendente (Magiotti, 1648, 18), "quale habbia un braccio, o spiraglio KM, che penetri in altra stanza, e da quella pur di nasco fare il giochetto" (Figura 6c).

En este momento histórico, la magia y la ciencia experimental son un continuo, siendo difícil discernir dónde termina una cosa y empieza la otra. De hecho, autores como Kircher, en sus exposiciones públicas, enmarañaban los experimentos entre los avances científicos y las creencias mágicas, de tal manera que al espectador le era difícil discernir lo que era una cosa y otra (Rider, 1990). Fue un gran adicto a los planteamientos mágicos y al entretenimiento, siendo con otros científicos de la época,

auténticos comerciantes de los aparatos utilizados para los experimentos, así como de las muchas ediciones que hacían de sus abundantes libros, en los que sí incluían las correspondientes explicaciones. También propone la ocultación de la manipulación con una tabla que impida ver al operario (Figura 6d), "Quod quidem spectaculum maiorem admirationem habebit, si inter canalem D, & tubum vitreum SQ, interstitium quoddam seu tabula fuerit; [...]" (Kircher, 1654, 129).

Balthazar de Monconys, consejero del Rey de Francia, realizó un viaje por diversos países entre abril de 1645 y junio de 1664, dejando constancia en un diario de los descubrimientos científicos, secretos, fórmulas, máquinas y aparatos que le mostraban en los múltiples lugares de su recorrido. A su muerte, su hijo, Señor de Liergues, publicó el diario de los viajes. En las páginas que corresponden a las fechas en que Monconys visitaba Egipto, 16 de febrero de 1647, se reproduce un experimento que le transmite por carta el Señor de la Senegerie. En la edición impresa (Monconys, 1665, 173), deja constancia, mediante una figura y su correspondiente texto, de un instrumento hidrotécnico (Figura 6e) que, mediante la compresión del agua, produce diversos movimientos en fiolas o jarritas de vidrio encerradas en un vaso lleno de agua. Las pequeñas ampollas de cristal o de esmalte están huecas y abiertas; con diferentes pesos. El montaje se complementa con una caja de madera en la parte inferior que oculta una bolsa de cuero o vejiga de cerdo, conectada mediante un tubo con el cilindro de cristal, y que puede ser presionada mediante una palanca con la que se transfiere agua al interior del cilindro, produciendo el movimiento de caída de la pequeña fiola; al soltar la palanca volverá a subir, al disminuir la presión del agua hasta su estado inicial.

Esta cita del viajero será la utilizada por Sturm (1685) para incluir en su libro este mismo instrumento mejorado, y con la inclusión de dos figuras de cristal macizas colgando de la fiola, una de una persona y otra de un ave.

El diario es publicado años después, con las imágenes incorporadas, lo que puede poner en duda la originalidad de los dibujos y su correspondencia con la fecha de realización del viaje. En cualquier caso Sturm, además de los tres experimentos citados, el florentino, el romano y el stutgardiano (Figura 2b), al parecer sin conexión alguna, representa la experiencia referida por Monconys en su diario, y sin duda, resulta un avance significativo en la espectacularidad y asombro que pueda producir en los espectadores, ya que la maniobra del operario queda oculta de una forma más elaborada (Figura 7a), que las propuestas por Magiotti o Kircher, en las que se manipulaba el diablillo haciendo presión sobre un canal oculto detrás de una pared o tabla (Figuras 6c y 6d).

Poujoulx (1805) lleva a cabo el aumento de presión mediante palancas ocultas en la base del aparato (Figura 4e), al igual que Jamieson (1837, 158-9), que si bien nos presenta el experimento del diablillo cartesiano para demostrar la incompresibilidad de los líquidos, el dibujo elegido bien podría estar inspirado en un aparato construido con el objetivo de ocultar el funcionamiento real de la máquina, dado que la palanca presiona a la membrana o vejiga con un sistema similar a los citados anteriormente, "and to dance about in the jar, without any visible cause for its movements" (Figura 5a).

Diversos autores (Roret 1834; Pécelet, 1847; Escudier, 1875; Raichvarg, 2006) dan cuenta de la presencia habitual de estos aparatos manejados por divulgadores de la ciencia, truhanes o saltibanquis, en calles y paseos, denominándolos con diversos nombres como ondins, ludions o Cartesian diver, durante los siglos XVIII y XIX. En concreto, Escudier y Raichvarg, así lo escriben en sus testimonios sobre la vida de Eustache-Amour Hublin, ejemplo de divulgador de la ciencia en la calle.

La literatura también le ha dedicado su espacio a los diablos cartesianos, aunque de una manera implícita. Finot (1900) cuenta una historia acerca de la creación de homúnculos guardados en botellas. Después de hacer una introducción acerca de la creación de homúnculos por Paracelso, y la psicosis creacional que propagó durante el siglo XVI, relata una historia reflejada en un diario escrito por Kammerer, secretario del conde José Francisco Kueffstein (1752-1818), austríaco amigo del ocultismo y la nigromancia. En el diario se relata la creación de diez homúnculos, un rey, una reina, un arquitecto, un monje, una monja, un minero, un serafín, un caballero, un espíritu azul y otro rojo. Las historias que les suceden encajan perfectamente con la utilización de diablos cartesianos, si es que la historia contada por Kammerer en su diario sucedió realmente. Tabori (1993, 510) relaciona la vejiga de vaca con la que se sellaban los recipientes de cristal, para llevar a cabo la generación de homúnculos por parte de Paracelso y sus seguidores y el recipiente que contenía los Minimax (diablo cartesiano), que obedecían a su amo a la orden de subir o bajar en las ferias de las ciudades francesas.

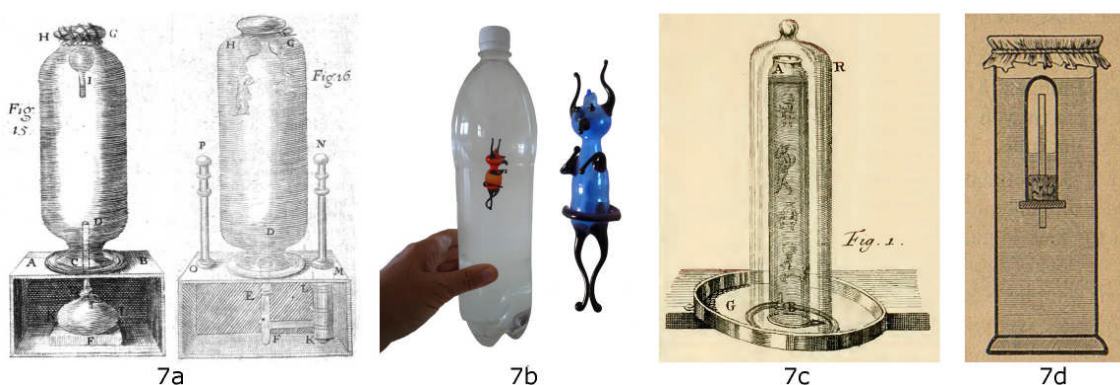


Figura 7.- a) Sturm, 1685 ; b) Diablo cartesiano, 2013; c) 'sGravesande, 1747; d) Meiser y Mertig, 1891.

En la actualidad se hace danzar a los diablillos en museos y talleres de ciencia, en botellas de refrescos, con paredes flexibles, lo que permite que con ligeras presiones de la mano, los espectadores, habitualmente niños y niñas, queden boquiabiertos con la obediencia mágica del diablillo (Figura 7b).

Su utilización científica

Durante el siglo XVII se sucedieron innumerables intentos de construir baroscopios, termoscopios, higroscopios, manoscopios que según los conocimientos y las técnicas de manejo del vidrio iban avanzando, así como

debido a la necesidad de graduar los aparatos, se fueron convirtiendo en barómetros, termómetros, higrómetros y manómetros. Pero el camino no fue uno, ni recto, y durante años, los distintos modelos, según los diversos planteamientos y materiales utilizados, avanzaron en paralelo. El agua, el alcohol, el mercurio, y otros muchos materiales fueron utilizados.

El diablo cartesiano nació como un intento de la construcción de termoscopios, pero su lentitud e imposibilidad de utilización con escalas rigurosas lo relegó para ese uso. Sin embargo, son abundantes los médicos que lo citan como termoscopio utilizando los nombres de los experimentos florentino, romano y stutgardiano (Paschii, 1695; Hoffmann, 1695; Teichmeyer, 1712; Juch, 1735). Teichmeyer (1712, 27) ya utiliza el término diablo Cartesiano.

La utilidad del aparato para otras demostraciones científicas, también fue secundario por la existencia de otros aparatos más espectaculares. Las escopetas de aire comprimido fueron un oponente imposible de batir para demostrar la elasticidad del aire. La supuesta incompresibilidad del agua era más espectacular demostrarla golpeando esferas de cobre llenas del líquido, y comprobando la dificultad para disminuir su volumen, llegando a su rotura. La demostración de la existencia del vacío o el peso del aire fueron unos retos tan importantes para la ciencia, que el aparato que subía o bajaba al variar la temperatura o la presión era simplemente un scherzo o distracción.

Aún así, diversos autores utilizaron el diablillo cartesiano como accesorio para otras demostraciones. 'sGravesande (1747) consigue hacer danzar el aparato mediante una bomba que inyecta aire en una campana de cristal, donde está el recipiente cilíndrico con la figura de cristal (Figura 7c).

También se propuso como recurso para realizar válvulas hidrostáticas (Antonelli, 1841). Ya en el siglo XX, Guglielmo (1901) lo propone como un sistema eficaz para medir la presión atmosférica.

Anteriormente, Segner dice haberse inspirado en el movimiento circular de los diablillos con cola enroscada, para inventar su conocida rueda hidráulica (Kástner, 1769, 605).

Los modelos de ludiones fabricados han sido muy variados. Así como unos querían ocultar su funcionamiento otros pretendían ser más didácticos como el exacto y preciso émbolo a rosca que utiliza Ganot (1866) en la figura 5c; o el montaje con posibilidad de una mayor percepción de lo que sucede, diseñado por Meiser y Merting (1891) en la figura 7d.

El diablo cartesiano se ha utilizado desde su descripción como un ejemplo del Principio de Arquímedes. Côtes sigue utilizando las burbujas o ampollas de cristal, petites bulles de verre (1742, 82 y ss.), como ejemplo para sus explicaciones acerca de los principios expuestos por Arquímedes en su obra *De insidentibus in humido*.

Llinderstrøm-Lang (1937) inicia, con el uso de diminutos diablillos, los primeros experimentos para el cálculo de consumo de oxígeno en la reproducción celular.

A lo largo de los siglos la diversidad de recipientes y figuras para llevar a cabo los usos y efectos del ludión es sorprendente. Más imágenes del diablo cartesiano pueden verse en Carrasquer, Álvarez y Ponz (2014).

El uso didáctico de acontecimientos históricos

La utilización de la historia o las biografías de los protagonistas de los avances científicos, se manifiesta como una herramienta didáctica útil. En el número monográfico de la revista *Alambique* de abril de 1996 acerca de la naturaleza e historia de la ciencia y su utilización didáctica, Mercé Izquierdo (1996, 19) recomienda la "Elaboración y validación de nuevos recursos para la clase, que faciliten la reflexión sobre el desarrollo histórico de las ciencias, mediante la selección de episodios históricos para dar lugar a ensayos, representaciones, reconstrucciones de experimentos históricos de acuerdo con los diferentes objetivos didácticos ...", por desgracia en el episodio de la ciencia que aquí se presenta no parece ser que intervinieran mujeres para hacerlo explícito, que es lo que nos continúa recomendando la autora. Pero de la ausencia también se pueden extraer conclusiones y aprendizaje.

Para Matus (2009), en las clases de ciencias no se presta demasiada atención a la manera en que los científicos llevan a cabo su trabajo, la forma en la que se produce la ciencia o los cambios que sufren las teorías. Este proceder en el aula, presentando los contenidos cerrados, sin posibilidad de discusión y descontextualizados, puede provocar en parte la visión dogmática que muchos de los estudiantes tienen de lo que es la ciencia, que no hace sino reafirmar el planteamiento de los libros de texto. Esta situación justificaría la utilización de la historia de la ciencia con el objetivo de presentar situaciones problemáticas históricas, cómo se le buscó respuestas y cómo unas ideas son sustituidas por otras (Matus, 2009, 32).

También Caamaño se pregunta, ¿qué actividades son las más adecuadas para comprender la naturaleza de la ciencia?; entre ellas da importancia a aquellas que tienen que ver con la historia de la ciencia (Caamaño, 2012, 118-122).

Para Vázquez, Manassero y Ortiz (2013, 244-5) existe una tradición didáctica en la defensa de los beneficios de la utilización de la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia, y los temas de ciencia-tecnología-sociedad, en los programas escolares y que han sido precursores de la más recientemente denominada Naturaleza de Ciencia y Tecnología. Una de las conclusiones encontradas por los especialistas en este ámbito es que la enseñanza se lleva a cabo en un ambiente de poca formación, afirmando que muchos profesores sostienen concepciones desinformadas sobre éstos contenidos. Estos resultados reafirman la idea de que no es suficiente con la programación de actividades para alcanzar el aprendizaje de conceptos, leyes y procedimientos científicos, para que de forma indirecta los estudiantes universitarios construyan la idea de qué es la ciencia. Para estos autores es necesaria la existencia de actividades especialmente dirigidas a construir el saber de qué es la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología, que tengan una programación al igual que el resto de contenidos científicos, siendo tal como denominan una enseñanza explícita, incluyendo actividades reflexivas sobre esos contenidos.

El uso didáctico de imágenes

Al igual que cada individuo interpreta cada concepto anclándolo en sus conocimientos y construyendo su realidad, las imágenes han de sufrir un proceso similar. Según Martí (2003), las imágenes son reconstruidas gracias a un proceso evolutivo individual, y en éste son importantes las prácticas educativas utilizadas, que han de ser facilitadoras de esa adquisición, mediante el proceso de comprensión y posterior argumentación de los fenómenos representados en las imágenes. En este proceso serán relevantes tanto las imágenes utilizadas para la enseñanza, como las que realice el estudiante para representar su construcción individual interna.

Desde el punto de vista didáctico, la investigación acerca de la utilización de imágenes en la enseñanza de las ciencias es reciente, y aunque no es el motivo de este trabajo de una forma directa, sí es preciso mencionar que lo que aquí se presenta no es un planteamiento de utilización de imágenes que con una simple visión vayan a ser útiles para el aprendizaje, sino que precisamente lo que se pretende es alcanzar la motivación para provocar una discusión sobre ellas y conseguir una mejor comprensión del hecho físico, lúdico o mágico que se pretende reflejar (Fanaro, Otero y Greca, 2005), así como una reflexión histórica del proceso.

No se puede considerar que la propia visualización de una imagen conduzca como consecuencia al aprendizaje, dado que al observar la imagen no se construye la realidad; ésta tendrá que ser reconstruida como un nuevo conocimiento y su imagen correspondiente (Piaget e Inhelder, 1956; Mottet, 1996; Martínez Peña y Gil Quílez, 2003; Gil Quílez y Martínez Peña, 2005).

Tal como indica Perales, también es necesario valorar en su amplio espectro el lenguaje de las imágenes. Las imágenes realistas, en un espacio de aula, utilizadas con un fin interpretativo, ayudan a hacer más explícitos los textos explicativos, pero para ello la interpretación o lectura de la imagen no ha de ser superficial, sino que se ha de realizar a partir de determinadas instrucciones o indicios que obliguen al lector a profundizar en la comprensión de lo observado (Perales, 2006). La descripción de imágenes por parte de los estudiantes, puede ser un ejercicio que les ayude a profundizar en el conocimiento de la imagen que está viendo, y asimismo que ponga de manifiesto posibles contradicciones con lo ya aprendido.

Finson y Pederson (2011, 67), al igual que en su día escribieron Novak y Gowin al referirse a la construcción de conceptos (Novak y Gowin, 1998, 45), asocian las imágenes mentales que cada individuo construye ante una palabra, con sus conocimientos previos. De tal manera que al realizar una lectura también se construyen una serie de imágenes, a modo de película, en función de la interpretación del texto. También se puede afirmar que la información que proporciona una imagen visual entrará a formar parte del conocimiento del individuo y que posteriormente utilizará para la comprensión de otros acontecimientos.

Un interesante trabajo sobre las imágenes como objeto de aprendizaje y su interpretación icónica es la tesis doctoral de Insuasty (2013, 19-23). Si bien el autor centra el concepto de imagen, en el más actual, como sucesión de imágenes fijas, es decir películas, y diserta acerca de los diversos tipos

de imágenes, afirma que las “manifestaciones y artefactos gráficos de todas las épocas y culturas [...] son capaces de transmitir ideas que permiten conocer el pasado e interpretar el presente” (Insuasty, 2013, 31).

Implicaciones didácticas

Desde la Didáctica de las Ciencias se plantea la necesidad de que el alumnado no sólo adquiera conocimientos conceptuales y procedimentales propios del saber científico sino que se familiarice e interiorice con qué es la ciencia y cuál es su naturaleza.

Autores como Van Aalderen-Smeets, Walma Van Der Molen y Asma, (2012), insisten en la importancia de trabajar con el profesorado en activo y con los futuros docentes para que asuman la importancia de la ciencia y tengan recursos suficientes para transmitir esas mismas sensaciones a su alumnado. En el ámbito de la formación universitaria, los futuros graduados en Magisterio y en concreto de Educación Primaria debieran recibir una formación encaminada a intentar lograr que alcancen una visión de lo que es la ciencia y su naturaleza, así como su vinculación con la tecnología más acorde a la realidad (Guisasola y Morentin, 2007; Vázquez, Manassero y Ortiz, 2013).

Tal como indican Furió-Gómez, Solves y Furió-Mas (2007) es preciso lograr una educación que aporte una serie de hechos que sean útiles para la construcción de un concepto de ciencia contextualizado, más social y con posibilidades de despertar el interés y la motivación de los estudiantes. La historia de la descripción del diablo Cartesiano dispone de algunas de éstas características relativas a épocas pasadas.

Para lograr la motivación hacia el aprendizaje, uno de los aspectos citados por diversos autores es la sorpresa del aprendiz ante un acontecimiento determinado al que no le encuentra explicación con sus conocimientos (Furió, Payá y Valdés, 2005). El diablillo cartesiano y su utilización con connotaciones mágicas a lo largo de la historia pone de manifiesto ese requisito.

En ocasiones la permanencia en el tiempo de determinadas afirmaciones relacionadas con contenidos científicos, conducen a errores que inicialmente no existían. Galileo realiza una analogía implícita entre los peces y su vejiga de gases y el aparato que él está buscando, un termoscopio, que permita saber la temperatura de un lugar. Este aparato, será llamado posteriormente diablo cartesiano y la analogía con la vejiga natatoria de los peces es una constante hasta los textos actuales. Esta analogía conduce a creer que tanto el pez como el ludióon mantienen el volumen constante y varía su masa. Mientras Borelli (1680, 335-6) ya describió cómo al aumentar el tamaño de la vejiga aumenta también el volumen del pez, hoy se enseña que la vejiga aumenta su tamaño, el pez permanece con el mismo volumen, y sin embargo sube en el interior del agua (Carrasquer, Ponz, Álvarez y Gil, 2013; Carrasquer, Ponz, Álvarez, Lázaro y Bujeda, 2013).

La supuesta objetividad del conocimiento científico parece conducir a sus constructores a ser personas intachables. Sin embargo no siempre es así. Las discusiones acerca de quién fue el descubridor del diablo cartesiano,

pueden servir de ejemplo para comprobar que el quehacer científico no siempre está sujeto a la objetividad, ni está libre de influencias personales, como las afectivas; en otras ocasiones están ligadas a intereses como el protagonismo de determinadas personas o colectivos. En el caso que nos ocupa, se pone en evidencia la voluntad de dominio de la Compañía de Jesús respecto al conocimiento científico. Precisamente Raffaello Magiotti, amigo y seguidor de Galileo, en cierto modo renunció a apoyarlo, al aceptar un cargo en la Biblioteca Vaticana en 1630. A pesar de que Magiotti continuó durante toda su vida en contacto con la Accademia del Cimento, al aceptar su puesto en Roma, asumía en cierta medida las opiniones científicas dominadas por el Colegio Romano, donde estaba el núcleo de científicos y filósofos que defendían las ideas contrarias a las de Galileo y que serán precisamente los que harán todo lo posible para que el humilde experimento, el diablo cartesiano, no llevase el nombre de Magiotti, ni fuese reconocida su autoría hasta pasados muchos años.

También Reisel (1685), debido a la presión de otros científicos que le acusan de no hacer público el mecanismo que hacía funcionar la fuente de vasos comunicantes cambiantes, es obligado a publicar el diseño de la obra hidráulica y a reconocer públicamente que la idea no era de su invención sino de Jean Jordan un peletero de Stutgard (Reisel, 1689, 1-5).

La descripción del funcionamiento del diablillo es consecuencia del interés de la familia Medici por las artes y las ciencias. Otras connotaciones aparte, en este caso, la inversión en investigación para conseguir medir la temperatura ambiente, entre otros, con el objetivo de incubar huevos de gallina (Antinori, 1841, 34), es la consecuencia de avances, tanto científicos como tecnológicos con una repercusión tan importante que superó con creces los objetivos iniciales. Es un ejemplo de cómo la inversión económica en investigación es eficaz para mejorar el desarrollo económico.

La capacidad de integrar los conocimientos científicos para lograr avances tecnológicos se pone de manifiesto en la conocida rueda de Segner (Segner, y Richter, 1750). La construcción de diablillos con un tubo retorcido hace que giren sobre su eje vertical. Segner se inspira en esta rotación para construir la primera máquina hidráulica energéticamente eficiente según demostrará en sucesivos trabajos teóricos Euler (1752).

En relación a este giro del diablillo hay otro aspecto a matizar. El planteamiento de Ernest Mach en 1893 (Mach, 1919, 299-301) sobre el problema del aspersor inverso que posteriormente divulgó Richard Feynman (1997, 59-65), tiene una posible respuesta al comprobar que el diablillo exclusivamente gira al subir, es decir al salir el agua por el tubo, no al entrar por él. Actualmente se fabrican diablillos con pajitas de refresco con perforaciones a un lado y otro que producen el mismo efecto que la cola girada (Danese, 2013).

Las discusiones por las autorías de los descubrimientos aparecen esporádicamente asociadas al conocimiento científico. Y también suele ocurrir que no son los protagonistas los causantes de las mismas, sino que la polémica surge posteriormente provocada por los historiadores. A la par que Segner avanzaba en el diseño de su rueda otro autor Robert Larker, trabajaba en máquinas similares, lo que provoca una polémica acerca de

quién era el descubridor (Glynn, 1853, 50-52; Kirby, Withington, Darling y Kilgour, 1990, 182-188).

Otra aplicación científica con carga tecnológica son los pequeños buzos cartesianos de Linderstrøm-Lang (1937) utilizados para el cálculo de consumo de oxígeno por células en reproducción. Ejemplo de de la evolución del aparato para usos científicos aplicados, que posteriormente ha seguido perfeccionándose, perdiendo cualquier semejanza con la inicial utilización del diablillo.

Un aspecto a tener en cuenta con influencia en el proceso educativo es que el alumnado comprenda que el quehacer científico permite elaborar enunciados a partir de acontecimientos particulares, que sirvan para comprender otros hechos observados. El reconocido médico Federico Hoffmann (1695, 15-6), como muchos de los colegas de la época, adoptan en mayor o menor medida los postulados mecanicistas e intentan explicar el funcionamiento del cuerpo humano desde esa perspectiva. Después de escribir sobre el funcionamiento del experimento stutgardiano y el florentino de Sturm, es decir, sobre aquellos movimientos de las ampollas de cristal debidos a las variaciones de la temperatura y el tamaño de las burbujas, diserta acerca del peso de los cadáveres y sobre su comportamiento cuando están sumergidos en agua, relacionándolo con los experimentos citados. Al igual harán otros autores durante años (Khell, 1754, 410; Grueber, Kuffner, Diemer y Hermann, 1766, 230; Guevara y Basoazábal, 1829, 287-288).

Otro aspecto relevante de la ciencia es su funcionalidad. El contexto en el que se alcanzan los descubrimientos científicos y su aplicabilidad pueden reforzarse con parte de la historia del diablillo cartesiano. Por ejemplo, en los últimos decenios del siglo XVII, las campanas de buzo (viteri urinators) se desarrollaron y perfeccionaron en su tecnología, avanzando notablemente en su uso, tras un periodo largo de estancamiento en su desarrollo, gracias sin duda a la comprensión del funcionamiento del diablillo cartesiano (no en vano Wolff, en 1722, denomina al aparato pequeño buzo porque realiza los movimientos descendentes y ascendentes). Asimismo, el funcionamiento homólogo entre el diablillo cartesiano y las campanas de buceo dará ideas acerca de cómo elevar barcos sumergidos con la utilización de las bombas de aire mediante las que se insufla éste al interior de los cascos de las naves naufragadas. De igual manera el diablo cartesiano está ligado en esta época a las aplicaciones que tienen que ver con el principio de Arquímedes, tales como la flotabilidad de los barcos en agua salada o agua dulce (Schwarz y Gleich, 1752, 5).

Conclusiones

En este trabajo se propone la utilización de la historia de la ciencia, como un recurso didáctico, con la aportación de nuevos materiales que mediante la interpretación de imágenes, razonamiento espacial, pueden ayudar a la resolución de problemas planteados.

Se aportan datos inéditos acerca de la historia del aparato diablo cartesiano o ludión, así como unos modelos poco conocidos y con diversas variaciones en su construcción; también se aportan los nombres de los autores que inicialmente las utilizaron y las publicaciones, a partir de las

cuales se puede encontrar valiosa información histórica del contexto social y científico. Hasta la fecha esta iconografía no se ha empleado como recurso de aprendizaje para que el estudiante tenga más posibilidades de éxito en su proceso de indagación acerca de las leyes físicas que rigen el funcionamiento de este aparato.

Los modelos primitivos y su evolución permiten que el estudiante analice las variaciones, encuentre cuáles son las diferencias y modificaciones que intervienen en ellas, y compruebe cómo afectan a su funcionamiento. Es decir, se aporta una información, no sistematizada y que se encontraba dispersa en publicaciones históricas de difícil localización.

Este trabajo se estructura en una clasificación que ayuda a comprender, no solamente su evolución morfológica, sino también los motivos de su pervivencia en el tiempo, a pesar de su menor entidad científica.

La utilización de diablillos con cola enroscada o con salidas laterales aporta otra interesante variación, debido a los giros sobre su eje que provoca la salida del agua y que permite mayor diversificación en el planteamiento de problemas a los estudiantes.

Los contenidos acerca de la evolución del instrumento facilitan la búsqueda de información. Por ejemplo, la situación social y científica en el siglo XVII y XVIII, momento de los orígenes, aparición y difusión del instrumento; los debates acerca de la existencia del vacío, del peso del aire, de la compresibilidad de los fluidos, de los fundamentos del movimiento, ..., de la existencia de Dios, del diablo, del poder social de la religión y de un grupo concreto como la Compañía de Jesús, etc.; los científicos y los avances que protagonizaron, Torricelli, Borelli, Boyle, Newton, ...; la valoración del comportamiento personal de los científicos implicados, el reconocimiento social y científico a los autores, las aplicaciones contemporáneas, en el futuro y su trascendencia científica y educativa.

El diablo cartesiano es un experimento físico que, a pesar de no haber tenido gran relevancia científica a lo largo de su historia, siempre ha estado presente en los libros de filosofía-ciencia y posteriormente de física. Ha sido utilizado tanto como una experiencia científica, como un aparato mágico o de entretenimiento, adecuando su presentación y manejo al interés del operario. Incluso en el ambiente escolar o educativo la primera intención es la ocultación de su funcionamiento.

El comienzo de su historia es un ejemplo de lo que no se quiere que sea el quehacer científico, ocultación de su autoría durante cincuenta años y posteriormente el olvido de su autor durante casi doscientos más. De hecho las denominaciones más utilizadas que han perdurado no hacen justicia a Magiotti.

Tanto la historia del diablo cartesiano como su sencilla construcción y manejo, lo configuran como un recurso interesante para trabajar en el aula. Las variables que influyen en su funcionamiento desde un punto de vista de la física permiten el desarrollo de actividades de indagación. La observación y razonamiento del funcionamiento del aparato mediante las imágenes seleccionadas, son una valiosa herramienta para la discusión y argumentación y razonamiento físico de su comportamiento en la botella.

Agradecimientos

El grupo Consolidado de Investigación Aplicada "Beagle" (BOA, 9/5/2008) está financiado por el Departamento de Ciencia, Tecnología y Universidad del Gobierno de Aragón y el Fondo Social Europeo.

Parte de este trabajo, ha sido posible gracias al Proyecto "CienciaTE" (2014/B013), patrocinado por la Fundación Universitaria Antonio Gargallo de la Universidad de Zaragoza.

Referencias bibliográficas¹

Antinori, V. (1841). *Notizie Istoriche relative all'Accademia del Cimento*. In *Saggi di Naturali Esperienze Fatte Nell'Accademia del Cimento* (pp. 3-133). (3ª ed.) Florencia: Tipografia Galileina.

Antonelli (Ed.). (1841). *Nuovo Dizionario Universale Tecnologico o di Arti e Mestieri*, vol. 27. Venecia: Antonelli Ed.

Belloni, L. (1963). Schemi e Modelli Della Macchina Vivente nel Seicento. *Physis, revista di Storia Della Scienza*, 5, 259-298.

Bird, G. (1848). *Elements of Natural Philosophy*. Filadelfia: Lea and Blanchard.

Boffito, G. (1929). *Gli Strumenti della Scienza e la Scienza Degli Strumenti*. Florencia: Libreria Internazionale Seeber.

Borelli, J.A. (1670). *De Motionibus Naturalibus a Gravitate Pendentibus*. Regio Iulio: In Officina Dominici Ferri.

Borelli, J.A. (1680). *De Motu Animalium*. (vol. 1). Roma: A. Bernabó.

Caamaño, A. (2012). La elaboración y evaluación de modelos científicos escolares es una forma excelente de aprender sobre la naturaleza de la ciencia. En Pedrinaci, E.; Caamaño, A.; Cañal, P. y A De Pro (Coords.), *11 Ideas clave. El desarrollo de la competencia científica* (pp. 105-126). Barcelona: Editorial Graó.

Carrasquer, J., Álvarez, M.V., y A. Ponz (2014). Exposición "Danzad, danzad, diablillos", una visión de la Historia del Diabolo Cartesiano a través de imágenes. Teruel: Universidad de Zaragoza. En: <http://web-ter.unizar.es/cienciate/expo>

Carrasquer, J., Ponz, A., Álvarez, M.V. y M.J. Gil (2013). ¿Es el ludión-vejiga natatoria una analogía adecuada? *IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*. Girona: Enseñanza de las Ciencias.

Carrasquer, J., Ponz, A., Álvarez, M.V., Lázaro, C. y J. Bujeda (2013). La transposición didáctica del funcionamiento hidrostático de un órgano

¹Para la consulta de los textos históricos aquí referenciados se recomienda introducir el título de la publicación o los datos de la revista en el buscador Google o bien a través de la página books.google.com.

complejo: la vejiga natatoria de los peces. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 27, 255-269.

Carrasquer, J., Ponz, A., Álvarez, M.V. y J. Uría (En prensa). Historia de los nombres del diablo cartesiano. *Studium*.

Caverni, R. (1891). *Storia del Metodo Sperimentale in Italia*, vol. 1. Florencia: Stabilimento G. Civelli-Editore.

Côtes, R. (1742). *Leçons de Physique Experimentales, sur l'Équilibre des liqueurs*. París: David fils.

Danese, B. (2013). Le caraffine di Magiotti. En: <http://www.reinventore.it/sala-professori/2013/12/le-caraffine-di-magiotti/>

De La Fond, S. (1767). *Leçons de Physique Experimentale*, vol. 1. París: Des Ventes de la Doué.

De La Fond, S. (1775). *Description et Usage d'un Cabinet de Physique Experimentale*, vol. 1. París: Gueffier.

Dechales, C.F.M. (1674). *Cursus seu Mundus Mathematicus*, vol. 1. Leiden: Ex Officina Annisoniana.

Deschanel, P. (1869). *Traité Élémentaire de Physique*. París: Librairie L. Hachette et Cie.

Drion, Ch. y É. Fermet (1869). *Traité de Physique Élémentaire*. París: Victor Masson et Fils.

Escudier, G. (1875). *Les Saltimbanques*. París: Morris Père et Fils.

Euler, L. (1752). Recherches sur l'Effet d'une machine hydraulique proposée par Mr. Segner professeur à Göttingue. En *Historia de L'Academie Royale des Saciences et Belles Lettres*. Année MDCCL (pp. 311-354). Berlin: Haude et Spener.

Fanaro, M.A., Otero, M.R. y I.M. Greca (2005). Las imágenes en los materiales educativos: las ideas de los profesores. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4, 2, s/p. En: <http://reec.uvigo.es>

Feynman, R.P., (1997). *Surely you're joking Mr. Feynman*. Nueva York: Norton & Company Inc.

Finot, J. (1900). *La Philosophie de la longévité*. París: Librerie C. Reinwald.

Finson, K. y J. Pederson (2011). What are Visual Data and What Utility do they have in Science Education? *Journal of Visual Literacy*, 30, 1, 66-85.

Furió, C., Payá, J. y P. Valdés (2005). ¿Cuál es el papel del trabajo experimental en la educación científica? En D. Gil, B. Macedo, J. Martínez, C. Sifredo, P. Valdés, y A. Vilches (Eds.), *¿Cómo promover el interés por la cultura científica. Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años?* (pp. 81-102). Santiago: Oficina Regional de Educación para la América Latina y Caribe, OREALC/UNESCO.

Furió-Gómez, C., Solves, J. y C. Furió-Mas (2007). La historia del primer principio de la termodinámica y sus implicaciones didácticas. *Revista Eureka. Enseñanza y divulgación científicas*, 4, 3, 461-475.

Ganot, A. (1866). *Traité élémentaire de Physique Expérimentale et Appliquée et de Météorologie*. (12ª ed.) París: Chez L'Auteur, Chez Delagrave et C^{IE}.

Gil Quílez M. J. y Martínez Peña, M. B. (2005). El Modelo Sol-Tierra-Luna en el lenguaje iconográfico de estudiantes de Magisterio. *Enseñanza de las Ciencias* 23(2), 153-166.

Glynn, J. (1853). *Rudimentary treatise on the power of water*. Londres: Holborn.

Gliozzi, M. (1930). Qui es inventore de Ludione? *Schola et Vita*, 10-12, 365-368.

Govi, G. (1879). In che tempo e da chi siano stati inventati i Ludioni detti orinariamente: Diavoletti Cartesiani. *In Rendiconto dell'Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche (Sezione delle Società Reale di Napoli)*, 18, 291-296.

Grueber, L., Kuffner, G., Diemer, F. y E. Hermann (1766). *Veritatis ac Novitatis Philosophicae, Epitome Aphoristico Methodicae*. Ratisbona: Joann Michaelis Englerth.

Guevara y A. Basozábal (1829). *Institutionum Elementarium Philosophiae ad usum studiosae juventutis*. Madrid: Ex Typographia Regia.

Guglielmo, G. (1901). Sulla misura delle variazioni della presione atmosferica mediante ilm ludione. Nota de G. Guglielmo, presentata por el socio Blaserna. *Atti della Reale Accademia dei Lincei*, serie quinta, 10, 9-17, 41-50.

Guisasola, J. y M. Morentín (2007). Comprenden la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de Educación Primaria? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6, 2, 246-262. En: <http://reec.uvigo.es>

Heilbron, J.L. (1979). *Electricity in The 17TH and 18TH Centuries*. Los Angeles: University of California Press.

Hoffmann, F. (1695). *Philosophiae Experimentalis Axiomaticae Dissertatio Tertia de Corporum Motionibusex Gravitate Ortis*. Halle-Magdeburgo: Literis Viduae Salfeldianae.

Insuasty, E.G. (2013). *Lectura y lecturabilidad icónica en objetos de aprendizaje soportados por plataformas virtuales*. (Tesis doctoral). Departamento de Teoría e Historia de la Educación, Universidad de Salamanca. En: <http://gredos.usal.es/jspui/handle/10366/123000>

Izquierdo, M. (1996). Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 8, 7-21.

Jamieson, A. (1837). *Mechanics of Fluids for practical men comprising Hydostatics*. Londres: William S. Orr and CO.

Juch, H.P. (1735). *Instrumentis aerometricis eorumque usu in Medicina*. Erfordia: Typis Heringii.

Kástner, A.G. (1769). *Anfangsgründe der Hydrodynamik*. Gotinga: Berlag der Wittwe Vandenhoeck.

Khell, J. (1754). *Physica ex recentiorum observationibus accommodata usibus academicis*. (2ª Ed.) Viena: Ex Officina Trattneriana.

Kirby, R.S., Withington, S., Darling, A.B. y F.G. Kilgour (1990). *Engineering in History*. Mineola, Nueva York: Dover Publications.

Kircher, A. (1654). *Magnes sive de Arte Magnetica*. (3ª Ed.) Roma: Vitalis Mascardi.

Krüniz, J.G. (1779). *Oekonomische encyklopädie*, vol. 18. Berlín: J. P. Buchhändler.

Lana, F.T. (1686). *Magisterii Naturae et Artis*, vol. 2. Brescia: Mariam Ricciardum.

Llinderstrøm-Lang, K. (1937). Principle of the Cartesian Diver applied to Gasometric Technique. *Nature*, (140), 108.

Magiotti, R. (1648). *Renitenza certissima dell' Acqua alla Compressione, Dichiarata con varij scherzi, in occasione d' altri Problemi curiosi*. Roma: Francesco Moneta.

Mach, E. (1919). *Science of Mechanics*. (4ª. Ed.) Chicago: The Open Court Publishing Co.

Martí, E. (2003). *Representar el mundo externamente. La adquisición infantil de los sistemas externos de representación*. Madrid: Machado Libros.

Martínez Peña, M.B. y M.J. Gil Quílez (2003). Images and texts in the learning of models: The Sun-Earth-Moon System. En R. Nata (Ed.), *Progress in Education*, vol 12, (pp. 180-210). Nova Science Publishers, Inc., New York.

Matus, M.L. (2009). *Progresiones de aprendizaje en el área del enlace químico. Análisis de coherencia entre capacidades de los estudiantes y las representaciones usadas en los libros de texto*. (Tesis doctoral). Universidad de Granada. En: <http://hera.ugr.es/tesisugr/18513773.pdf>

Meiser y Mertig (Eds.). (1891). *Quatre cents Expériences de Physique: Livre d'exercices*. Dresde: Chez les auteurs.

Monconys, B. (1665). *Journal des Voyages de Monsieur de Monconys*. Premiere Partie. Lyon: Chez Horace Boissat, & George Remeus.

Mottet, G. (1996). Les situations-images. Une approche fonctionnelle de l'imagerie dans les apprentissages scientifiques à l'école élémentaire. *Aster*, 22, 15-56.

Moulidars, T. (1888). *Grande Encyclopédie Méthodique, Universelle, Illustrée des Jeux et des Divertissements de L'esprit et du corps*. París: Librairie Illustrée.

Musschembroek, P. (1739). *Essai de Physique*, vol. 2. Traduit du Hollandois par M. Pierre Massuet. Layden: Samuel Luchtmans.

Novak, J.D. y D.B. Gowin (1998). *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martínez Roca.

Oliva, J.M., Matos, J. y J.A. Acevedo (2008). Contribución de las exposiciones científicas escolares al desarrollo profesional docente de los profesores participantes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7, 1, 178-198. En: <http://reec.uvigo.es>

Paschii, G. (1695). *Schediasma de Curiosis Hujus seculi inventis, quorum accuratiori cultui facem praetulit antiquitas*. Kiloni: Riechelii.

Péclet, E. (1847). *Traité Élémentaire de Physique*, vol. 1. (4ª ed.) París: L. Hachette et Cie.

Perales, F.J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24, 1, 13-30.

Piaget, J. y B. Inhelder (1956). *The child's concept of space*. Nueva York: Routledge and Kegan Paul.

Poliniere, P. (1709). *Experiences de Physique*. París: Jean de Laulne.

Poujoulx, J.B. (1805). *Leçons de Physique*. París: Librairie Économique.

Raichvarg, D. (2006). Science on the Fairgrounds: From Black to White Magic. *Science & Education*. DOI 10.1007/s11191-006-9011-4. En: <http://link.springer.com.roble.unizar.es:9090/content/pdf/10.1007%2Fs11191-006-9011-4.pdf>

Reisel, S. (1685). Siphon Würtembergicus, siphon inversus cruribus aequialtis Fluens & refluxus hactenus inauditus. *En Miscellanea Curiosa Sive Ephemeridum Medico-Physicarum Germanicarum Academiae Naturae Curiosum, Decuriae II. Annus Tertius, Anni MDCLXXXIV*, 461-472. Norimbergae: Wolfgangi Mairitii Endteri.

Reisel, S. (1689). *Siphon Wurtembergicus per maiora experimenta firmatus, in vertice effluens, correctus et detectus*. Stutgard: Lobber

Rider, R.E. (1990). El Experimento como espectáculo. En J. Ordóñez y A. Elena (Eds.), *La Ciencia y su Público: Perspectivas Históricas* (pp. 113-146). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Roret, L.E. (1834). *Manuel Complet des Sorciers, ou la Magie Blanche*. (3ª Ed.) París: A La Librairie Encyclopédique de Roret.

Schott, G. (1657). *Mechanica Hydraulico-Pneumatica*. Frankfurt: Bibliopol.

Schwarz, J. y G. Gleich (1752). *Positiones Philosophicae*. En: http://www.europeana.eu/portal/record/03486/urn_resolver_pl_urn_urn_nbn_de_bvb_12_bsb10967630_4.html

Segner, J.A. y C. A. Richter (1750). *Computatio formae atque virium machinae hydraulicae nuper descriptae*. Gotinga: Litteris Hagerianis.

'sGravesande, G.J. (1720). *Physices Elementa Mathematica*, vol. 1. Leiden Batavorum: Petrum Vander, Balduinum Janssonium.

'sGravesande, G.J. (1747). *Mathematical Elements of Natural Philosophy*, vol. 2. Londres: Innys, Longman, Shewell y Hitch.

Sturm, J.Ch. (1685). *Collegii Experimentalis sive Curiosi*, vol. 2. Nuremberg: Wolfgangi Mauriti Endteri.

Tabori, P. (1993). *The Natural History of Stupidity*. New York: Barnes & Noble. Versión en Castellano: Historia de la Estupidez Humana. Ediciones Elaleph.com (1999). Em: <http://holismoplanetario.files.wordpress.com.pdf>

Targioni Tozzetti, G. (1780). *Notizie Degli Aggrandimenti Delle Scienze Fisiche accaduti in Toscana del corso di anni LX del secolo XVII*, vol. 1. Florencia: Targioni Tozzetti.

Teichmeyer, H.F. (1712). *Amoenitates Philosophiae Naturalis*. Jena: Sumptibus Autoris.

Thümmig, L.P. (1725). *Institutiones Philosophiae Wolfianae in Usos Academicos*, vol. 1. Frankfurt: Libraria Rengeriana.

Van Aalderen-Smeets, S.I., Walma Van Der Molen, J.H. y L.J.F Asma (2012). Primary Teachers' Attitudes Toward Science: A New Theoretical Framework. *Science Education*, 96, 1, 158–182.

Vázquez, A., Manassero, M.A. y S. Ortiz (2013). Análisis de materiales para la enseñanza de la naturaleza del conocimiento científico y tecnológico. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 12, 2, 243-268. En: <http://reec.uvigo.es>

Wolf, J.G. (1768). *Der Bienenstock, eine ökonomische Wochenschrift*. Wien: H.J. Krúchten.

Wolff, Ch. (1722). *Allerhand Nützliche Versuche, Dadurch Zu genauer Erkänntnis Der Natur und Kunst Der Weg gebähnet wird*, vol. 2. Halle-Magdeburgo: Rengerischen Buchhandlung.