

# El papel del experimento. Esquemas alternativos acerca del aire y el vacío

Salvador Jara-Guerrero

*Escuela de Ciencias Físico-Matemáticas, Universidad Michoacana*

*Morelia, Michoacán, Mexico*

*e-mail: sjara@zeus.ccu.umich.mx*

Recibido el 18 de junio de 1998; aceptado el 9 de noviembre de 1998

Las dificultades que enfrentan los estudiantes para aprender algunas teorías físicas, y para modificar los esquemas alternativos que construyen para explicar los fenómenos físicos están relacionadas con problemas epistemológicos y ontológicos que también han estado presentes en momentos clave de la historia de las ciencias. Aunque la evidencia experimental juega un papel importante, no siempre basta para modificar los esquemas alternativos. Se presenta el efecto que tiene la actividad experimental en el cambio de esquemas alternativos de estudiantes, acerca del concepto de vacío.

*Descriptores:* Filosofía; vacío; experimentos; esquemas alternativos

The difficulties students face when learning certain physics concepts and the different models or alternate theories they construct to explain physical phenomena are related to epistemological and ontological problems that have been present at key points in time during the history of science. Although experimental evidence plays a fundamental role, it is not always enough to induce change in alternate theories. This paper presents results on the effects of experimental activities on the modification of students' alternate theories with regards to the concept of vacuum.

*Keywords:* Philosophy; vacuum; experiments; alternate theories

PACS: 01.40.Gb; 01.50Q; 01.65; 01.70

## 1. Introducción

La historia tradicional de la ciencia nos ha mostrado que los conocimientos científicos van evolucionando y acumulándose de manera que los falsos se desechan y los verdaderos se mantienen, usando como guía al método científico y como árbitro al experimento. Las consecuencias de ésta imagen en la enseñanza de las ciencias son múltiples pero destacan tres. En primer lugar la identificación de conocimiento científico con conocimiento verdadero, que niega el proceso de transformación de la ciencia y su dinámica. En segundo lugar, se idealiza al científico como genio que sólo descubre, devela la verdad. Y en tercer lugar, se simplifica y reduce el proceso experimental.

Sin embargo, en los últimos 25 años se ha dado un movimiento que tiende a reconocer que los modelos utilizados por la ciencia, sus leyes y teorías, son mucho más que un conjunto de conocimientos objetivos acerca del mundo. Las relaciones entre conceptos, y los supuestos más generales en los que son sustentados, así como los métodos con que se adquieren y hasta el contexto social y cultural están presentes en la labor del científico, y por tanto forman parte de la ciencia misma. El científico no es más, pero tampoco menos humano que todos los demás, y por tanto está expuesto a los intereses, valores, expectativas y limitaciones de todos. Las teorías científicas están determinadas colateralmente tanto por factores internos como por factores sociales. Decir que los factores sociales o los factores internos explican el desarrollo de

la ciencia reduce la práctica científica a una dimensión; para hacer justicia a la complejidad de esta actividad debemos tomar en cuenta su naturaleza heterogénea y contingente [1].

Pero si la ciencia no es un mero conjunto de conocimientos verdaderos, no es posible que su enseñanza se conciba solamente como una transmisión o comunicación de información. El aprendizaje de las ciencias implica la comprensión de cierto tipo de racionalidad contextualizada que involucra un mundo mucho más amplio que la información científica aislada.

La separación radical tradicional de lo objetivo y lo subjetivo implica dos mundos separados, dos realidades, dos simplificaciones; pero el conocimiento científico es siempre una mezcla social-natural porque se trata de una actividad social acerca del mundo natural, concebir que la realidad es siempre esa mezcla implica un mundo mucho más interesante [2]. Sin embargo, no se trata de asumir una postura empirista ni idealista, sino un tipo de realismo que no confunda lo que decimos del mundo con el mundo mismo, que reconozca que existe un mundo con mecanismos y estructuras que dan lugar a los fenómenos (objetos intransitivos del conocimiento), pero que el conocimiento acerca de ellos, leyes y teorías, es una actividad social (objetos transitivos del conocimiento) [3]. Asumir este realismo en la educación implica que al reconocer que el mundo y sus mecanismos y fenómenos no son lo mismo que las teorías, se debe también reconocer el papel activo del estudiante como quien re-construye los objetos transitivos del conocimiento.

Desde los trabajos de Jean Piaget [4] se ha puesto atención en las dificultades que tienen los estudiantes para aprender algunos conceptos físicos y la interesante relación con la problemática epistemológica y ontológica del desarrollo de la ciencia misma. Los problemas con que se encuentran los estudiantes cuando construyen diferentes modelos o esquemas alternativos para explicar los fenómenos naturales no son casuales, reflejan en cierta medida los obstáculos con que se ha encontrado el desarrollo científico que a su vez es una imagen de las dificultades de los científicos en la comprensión de la naturaleza, son muestras de la complejidad de los fenómenos y de la complejidad del estudio mismo de la naturaleza.

## 2. Esquemas alternativos

Los trabajos sobre esquemas alternativos [5] se han realizado desde hace casi veinte años y han mostrado que las explicaciones que los estudiantes van construyendo desde niños funcionan muy bien localmente y por tanto forman estructuras con coherencia interna que son más o menos estables y dependen en gran medida del sentido común y de la experiencia inmediata. Se trata de esquemas inteligentes, es por ello que muchos cursos de física no tienen un efecto importante en algunos de esos esquemas y los estudiantes, aún después de haber aprobado varios cursos de física, continúan explicando muchos fenómenos naturales con sus propios esquemas alternativos [6]. Pero estos modelos, al diferir radicalmente de la manera en que la ciencia explica esos fenómenos, se convierten en obstáculos para el aprendizaje posterior de los contenidos científicos.

En este trabajo se hace un análisis, desde el punto de vista del constructivismo, de esquemas alternativos que mantienen estudiantes de preparatoria y del primer año de la universidad acerca del aire y el vacío, haciendo una analogía con los modelos surgidos en la historia de la ciencia. Especialmente interesa analizar el papel de la actividad experimental como portadora de la evidencia para la falsación o verificación de teorías y para el cambio conceptual en los estudiantes. Es común que se suponga que en condiciones adecuadas los estudiantes pueden ir descubriendo poco a poco los conceptos científicos como si éstos fueran objetos que se encuentran escondidos y que el objetivo de la enseñanza fuera sólo mostrarlos o aprender a descubrirlos. Sin embargo, una mirada a la historia de los conceptos nos muestra que han existido una diversidad de interpretaciones sobre los mismos hechos y que en diversas épocas se han aceptado interpretaciones que en otras se habían rechazado. Los problemas que han enfrentado los científicos a lo largo de la historia pueden resultar ilustrativos de los problemas que enfrentan los estudiantes para comprender esos conceptos, y las soluciones, razonamientos y experimentos decisivos empleados en la historia pudieran también jugar un papel importante en el proceso de aprendizaje.

## 3. El papel del experimento

En la ciencia los resultados experimentales son considerados fundamentales, constituyen la evidencia del comportamiento del mundo natural; sin embargo, el "proceso" de la práctica experimental se considera casi siempre como poco importante, poco interesante o no problemático. Por otra parte, los experimentos se convierten en poderosos recursos de persuasión y convicción. Los informes experimentales, más allá de los datos y la información que proveen, son argumentos, esfuerzos por establecer una lectura particular de la naturaleza y su comportamiento [7], son en gran medida reportes retóricos e interpretativos, y el estudio de esta retórica puede ayudar para entender cómo los científicos han ido escogiendo sus teorías [8], pero también puede ser útil en la enseñanza, como modelo de argumentación.

La práctica experimental involucra tres elementos [9]: el proceso material, el modelo instrumental y el modelo fenomenal. El proceso material es la acción experimental en el mundo material, preparar aparatos, y en general hacer funcionar el laboratorio. El modelo instrumental expresa la comprensión del experimentador de cómo funcionan los aparatos y es central para el diseño, desempeño e interpretación de los experimentos. Y el modelo fenomenal es el que permite dar sentido y significado a los resultados experimentales, es un modelo que permite comprender conceptualmente la parte del mundo de los fenómenos que está bajo investigación.

Los tres elementos anteriores forman parte de cualquier actividad de práctica experimental, ya sea del científico o del estudiante. Adicionalmente está el problema de cómo llegamos a creer racionalmente en un resultado experimental. Cómo distinguimos entre un resultado genuino y un resultado que es un artefacto creado por el aparato [10]

Lo anterior muestra que el experimento, lejos de constituir una actividad totalmente transparente y objetiva, es un proceso complejo cuyos resultados no pueden interpretarse tan fácilmente, y por tanto, no constituye una evidencia tan clara ni para el científico ni para el estudiante.

## 4. Las interpretaciones en la historia

Un caso de la historia de las ciencias que desde mi punto de vista es de los más interesantes especialmente por las discusiones epistemológicas y ontológicas a que dio lugar durante la segunda mitad del Siglo XVII, es el del experimento de Torricelli y los experimentos de Robert Boyle acerca del vacío.

La polémica en torno al caso fue muy rica y variada, así como la diversidad de interpretaciones acerca de los resultados experimentales, pero las más sobresalientes son, en primer lugar, la idea medieval, pero todavía compartida por muchos en esa época, de que la naturaleza aborrece el vacío. Por otra parte Thomas Hobbes argumenta, con Descartes, en favor de una posición plenista que el universo está lleno de materia, existe un fluido etéreo que llena el universo y no deja ningún vacío; y por otra parte están los epicurianos vacuistas que suponen la existencia de átomos que se mueven "por sí

mismos" en el vacío. Boyle se coloca en una posición prudente entre el epicureísmo y el cartesianismo [11], pero a la vez con un escepticismo que le lleva a verificar la existencia de un probable aire sutil o éter, postulado por Descartes, colocando una pluma dentro del espacio "vacío" de su máquina; pero al no observar nada, no niega totalmente la existencia del éter, y evita declararse totalmente vacuista o plenista, dice que en caso de que el éter exista, al no ser evidente en los experimentos es irrelevante para el programa experimental.

Pero Hobbes tiene otro argumento, aceptar algo material y no visible es como aceptar la existencia del agua bendita o los exorcismos [12]. Para Hobbes lo que no es nada no forma parte del universo porque éste es corpóreo, la nada no está en ningún lado, pero a Boyle le tiene, en realidad, sin cuidado la existencia de un vacío metafísico, le interesan más la postulación imaginaria de los mecanismos que causan los fenómenos [13].

Hay un argumento hobbesiano especialmente interesante que bien podría haberse tomado de algún filósofo contemporáneo. Hobbes califica de artificiales a los experimentos de Boyle y pregunta por qué pueden éstos ser superiores a la experiencia cotidiana. Dice Hobbes que los experimentalistas buscan nuevos fenómenos cuando de la experiencia de un solo fenómeno las causas son conocidas si se razona acerca del movimiento; para Hobbes es imposible comprender los experimentos sin antes conocer la naturaleza del aire, es decir, sin una teoría previa.

Uno de los principales críticos de Boyle: Linus, jesuita y plenista, busca también un mecanismo y alega que el vacío "chupa" o jala con funículos, basta con cubrir con un dedo el tubo del experimento de Torricelli para darse cuenta de que no es la presión del aire la que sostiene el agua o al aire, sino que es jalado por los funículos, que son una especie de hilos. Por otro lado, Linus y otros alegaban que si el espacio torricelliano "contuviera" vacío, entonces aparecería negro.

Otro crítico de Boyle, Henry More, quien parece comparar la idea filosófica de Hobbes en el sentido de la importancia de los principios y consecuencias, ofrece otra interpretación del vacío, es quien llena las expectativas negativas de Hobbes y piensa que los hechos experimentales pueden ser capaces de mostrar la acción de los espíritus de la naturaleza. More alega que la naturaleza es estúpida, inerte y pasiva; su movimiento debe ser guiado por "seres inmateriales", el resorte del aire (término que usa Boyle para describir la presión) es muestra de los poderes que hacen que la materia se mueva, pero afirma que si el resorte del aire fuera tan fuerte, todo estaría sujeto a tal comprensión que se rompería.

## 5. Metodología

Las dificultades en la interpretación de los resultados de los experimentos acerca del vacío, así como la diversidad de interpretaciones posibles, se ejemplifica con la revisión histórica, pero también a partir de la manera en que estudian-

tes contemporáneos interpretan el experimento de Torricelli y la posición ontológica que asumen frente al concepto de vacío.

Con el objeto de estudiar los esquemas alternativos de los estudiantes y su paralelismo con las polémicas inglesas del siglo XVII sobre el vacío, se organizó un taller con estudiantes de los niveles de bachillerato y del primer año de licenciatura y se exploraron las explicaciones de los estudiantes al respecto. Se hizo evidente la complejidad tanto epistemológica como ontológica de los fenómenos aparentemente simples acerca del vacío y quedaron manifiestas algunas similitudes de los esquemas alternativos de los estudiantes con las interpretaciones históricas.

En este trabajo se utilizan dos técnicas metodológicas complementarias. Por una parte se realiza un análisis cuantitativo de los cuestionarios escritos, y por la otra, se describen opiniones de carácter cualitativo recabadas durante entrevistas y observaciones de discusiones. La ventaja del uso de entrevistas previas a la aplicación de cuestionarios cerrados es que permiten obtener información distinta de la que se infiere de las pruebas escritas convencionales donde las únicas respuestas posibles son las incluidas como alternativas. El objetivo principal de las entrevistas fue el diseño de un cuestionario de opción múltiple que incluyera todas, o al menos la mayoría, de las posibles respuestas.

Se realizaron entrevistas individuales y colectivas con 15 estudiantes, 10 de bachillerato y 5 del primer año de licenciatura y se les solicitó que *describieran y explicaran lo que ocurriría si se sumerge un popote en un líquido, se tapa el extremo superior con un dedo y se saca el popote; y en segundo lugar que describieran y explicaran lo que ocurriría si se empuja el émbolo de una jeringa hasta el fondo, se tapa la punta y se jala el émbolo hacia afuera.*

Las entrevistas se realizaron primero individualmente sin que los estudiantes tuvieran oportunidad de realizar ningún experimento, después, se les permitió realizar las experiencias y realizar las actividades adicionales que desearan, así como reconsiderar sus opiniones y explicaciones. Con la totalidad de explicaciones vertidas se elaboró un cuestionario de opción múltiple donde cada explicación propuesta tenía que calificarse de verdadera o falsa.

Posteriormente se ofreció un taller a estudiantes de preparatoria y del primer año de licenciatura al que asistieron 105 estudiantes.

En la primera sesión del taller, antes de realizar algún experimento se pidió a los estudiantes contestar individualmente el cuestionario de opción múltiple. Después se organizaron en equipos de tres o cuatro estudiantes para que discutieran sus respuestas. En general ningún equipo logró el consenso, se mantuvieron diferencias sin que hubiera posibilidad de convencimiento entre los miembros del equipo mediante el diálogo.

En la segunda sesión se hicieron públicas las respuestas individuales y por equipos, después se realizaron las actividades experimentales con el popote, agua y la jeringa. Nuevamente, primero de manera individual y después por equipos.

En general, todos realizaron actividades complementarias, ligeramente distintas a las propuestas, en muchos casos sólo por explorar, pero en otros con la pretensión de buscar alguna evidencia en la actividad experimental, en favor o en contra de algunas de las alternativas de explicación. El desarrollo de las actividades se observó cuidadosamente y se tomó nota de las opiniones y explicaciones de los estudiantes.

La tercera sesión continuó con más experiencias y con la discusión en cada uno de los equipos. Una vez concluidas las actividades experimentales y más o menos agotadas las discusiones, los estudiantes contestaron de nueva cuenta el mismo cuestionario de opción múltiple individualmente.

## 6. Resultados

Los resultados se presentan en dos partes, la primera es producto de los registros de las entrevistas y observaciones, y la segunda son los resultados de las respuestas a los cuestionarios. Es de hacer notar que la descripción cualitativa de las opiniones registradas no pretende una significación en el sentido estadístico convencional sino que se presentan explicaciones que pueden ser aisladas y que no es siempre posible generalizar, simplemente se ha confirmado que existen.

Tanto en las entrevistas, como en las discusiones durante el taller, el hecho de que el agua dentro del popote no cayera, y la dificultad para jalar el émbolo de la jeringa, fueron explicados diciendo que "se hace un vacío" y atribuyendo a éste la propiedad de "jalar" o "chupar". Esta explicación fue modificada por algunos porque no podían hacer inteligible cómo el vacío puede detener el agua, y entonces responsabilizaban al aire atrapado dentro del popote o la jeringa; éstas explicaciones mantienen una cierta similitud con las ideas de los funículos de Linus. Pero además durante el taller hubo otras opiniones que no aparecieron en las primeras entrevistas y que, por tanto no estuvieron incluidas en los cuestionarios. Un estudiante dice: *Lo que se ve claro es que si no baja el agua del popote tiene que estar detenida por algo aquí arriba (señala la parte superior) pero si fuera mucha agua pues tenía que caer, lo que lo detiene no aguantaría, se nota también la preocupación por buscar algo mecánico que jale el émbolo y el agua del popote, algo como los funículos.*

Algunos estudiantes decidieron dejar algo de aire dentro de la jeringa y entonces empujaban y jalaban el émbolo, el hecho de que éste se regresara cuando es empujado, lo explicaban diciendo que el aire atrapado lo empuja; en cambio cuando se regresa en sentido contrario no culpaban al aire exterior sino al vacío que se "creaba" en el interior.

Hubo otra idea muy interesante acerca del vacío. Una estudiante dijo: *Si el vacío es como nada, sólo hay vacío fuera del universo, entonces si creamos vacío aquí, es como crear una especie de hoyo. Y si hacemos vacío en algún lugar o aquí, pero dentro del universo, este vacío ocupa algún espacio dentro del universo y éste tiene que sufrir una expansión para dejar lugar al hueco de vacío que se crea.*

En general, durante las discusiones los estudiantes usaron palabras como fuerza, presión o potencia usándolas co-

mo sinónimos, pero más bien asignándoles el significado de la presión.

Las respuestas de los estudiantes en las dos aplicaciones del cuestionario muestran diferencias, pero la realización de las experiencias, el contacto con los experimentos, no siempre produjo cambios importantes en las concepciones estudiantiles. En los resultados siguientes, el primer porcentaje corresponde a la primera aplicación del cuestionario, antes de realizar las experiencias; y el segundo a las respuestas individuales después de los experimentos:

Al introducir un popote en agua y tapar el extremo superior, si se saca el popote queda agua dentro de él porque:

El peso del agua dentro del popote jala las paredes hacia adentro y éstas detienen el agua: 37.8%, 13.8%

La presión atmosférica detiene el agua: 40.5%, 93.1%

El aire que queda dentro del popote ejerce una presión sobre el agua y la detiene: 62.2%, 34.5%

Se crea un vacío que detiene el agua: 35.1%, 13.8%

Cuando se intenta jalar el émbolo de una jeringa, que previamente ha sido empujado hasta el fondo y se ha tapado la punta de la jeringa:

El aire que queda dentro de la jeringa impide que el émbolo se pueda jalar: 32.4%, 6.9%

La presión del aire fuera de la jeringa regresa el émbolo: 37.8%, 79.3%

El vacío jala al émbolo: 45.9%, 31%

Aunque sin duda hay algunos cambios notables, también es evidente que a pesar de la realización de las actividades experimentales, permanecen en los estudiantes interpretaciones distintas a las científicas.

Por una parte encontramos que aumenta significativamente el reconocimiento de que la presión atmosférica es la responsable de detener el agua dentro del popote, se incrementa de menos de la mitad al 93.1%. Pero por otra parte también llama la atención que el 34.5% continúa considerando, después de los experimentos, que es el aire que queda dentro del popote el responsable de detener el agua, y el 13.8% continúa pensando que son las paredes del popote las que sostienen el agua; ambas interpretaciones guardan cierta similitud con los funículos de Linus en el sentido de que son explicaciones que postulan la necesidad de que exista algo material que toque al agua para que la detenga por contacto. Finalmente, quienes mantienen la idea de que el vacío sostiene al agua dentro del popote, es decir que el vacío "chupa", representan un 35.1% antes de las actividades experimentales, y disminuye al 13.8% después de las experiencias.

Las respuestas a la pregunta relativa al émbolo muestran una drástica disminución de quienes responsabilizan al aire dentro de la jeringa de detener el émbolo, mientras que una tercera parte de los estudiantes, antes de los experimentos, explicaba que el émbolo no podía jalarsé debido a que el

aire interior lo detenía, después de haber realizado las experiencias este porcentaje disminuyó al 6.9%. De manera complementaria, el porcentaje de quienes responsabilizan a la presión externa de que el émbolo regrese cuando se jala, aumentó del 37.8% al 79.3%, es decir, el doble. Finalmente, mientras que el 45.9% consideraban que el vacío jala al émbolo en la primera aplicación del cuestionario, después de la realización de actividades experimentales, el 31% mantiene esa opinión; sólo un 15% modificó su explicación.

Finalmente, una pregunta adicional al término del taller fue si existía el vacío, un 55% cree que existe, el resto, un 45% asegura que no existe porque en todo lugar siempre hay o queda "algo", en el caso de la jeringa o de máquinas de vacío, siempre se mete algo de aire, o no se sale todo.

## 7. Conclusiones

Las actividades experimentales no resultaron ser cruciales en la impartición del taller para la modificación de los esquemas alternativos de los estudiantes. Lo anterior, sin embargo, no es una sorpresa si consideramos que los experimentos de Robert Boyle y su máquina de vacío tampoco fueron suficientes para modificar el punto de vista de quienes explicaban el experimento de Torricelli con la noción del horror que la naturaleza tiene la vacío o con funículos, como tampoco fueron suficientes los experimentos con vacío para probar su existencia y convencer a los plenistas.

El diagnóstico de los esquemas alternativos de los estudiantes son interesantes como base para diseñar otras actividades, no necesariamente experimentales, dirigidas al cambio conceptual, pero también es interesante su comparación con las interpretaciones históricas, que nos permite observar que muchas de las dificultades en el cambio conceptual de los estudiantes, corresponden también a las dificultades históricas, justamente en aquellos fenómenos que también han sido problemáticos en la historia, lo que confirma nuevamente las ideas estudiantiles no son explicaciones absurdas sino modelos coherentes, al menos de manera local, y fuertemente arraigadas gracias a su relativa funcionalidad. Y así como en la historia de la ciencia, los conceptos han evolucionado no sólo como producto de los resultados experimentales inmediatos sino como consecuencia de los análisis de consistencia de los modelos y de su éxito predictivo y explicativo más general, quizá haya que ampliar también la enseñanza de la física e incluir no sólo el laboratorio de experimentos sino alguno de análisis de modelos.

Sin embargo hay que reconocer los casos donde las actividades experimentales sí resultan ser fundamentales para la modificación de esquemas alternativos, en este caso, el efecto visible más importante fue el del reconocimiento de la existencia de la presión atmosférica que es responsable de detener el agua en el popote y de regresar el émbolo de la jeringa; pero sin duda que además pudieron existir otros logros colaterales como producto de las actividades experimentales [14].

1. D.J. Stump, en *The Disunity of Science*, editado por P. Galison y D.J. Stump, (Stanford University Press, 1996) p. 263.
2. B. Latour, *Configurations* 1 (1993) 259.
3. R. Bhaskar, *A Realist Theory of Science*, (Verso, London, 1997) p. 21.
4. J. Piaget, R. García, *Psicogénesis e Historia de las Ciencias*, (Siglo XXI Editores, México, 1984).
5. Existe ya una bibliografía muy extensa al respecto, fuentes recientes son las Memorias del *Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, que se celebró en Ithaca, Nueva York, estados Unidos en Agosto 1993, o las Memorias del Octavo Simposio de la *International Organization for Science and Technology Education*, celebrado en Edmonton, Canada en Agosto (1996).
6. J. Clement, *Am. J. Phys.* 1 (1982) 66; R. Osborne, *Phys. Teach.* 8 (1984) 504; I.A. Halloun and D. Hestenes, *Am. J. Phys.* 11 (1985) 1043; W. Harlen, *Primary Science Review* 3 (1987) 12.
7. David Gooding, Trevor Pinch and Simon Schaffer, *The Uses of Experiment*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1989) Chap. XVIII, p. 5.
8. Geoffrey Cantor, en *The Uses of Experiment*, editado por D. Gooding, T. Pinch, and S. Schaffer, (Cambridge University Press, Cambridge, 1989) p. 161.
9. A. Pickering, en *The Uses of Experiment*, editado por D. Gooding, T. Pinch, and S. Schaffer, (Cambridge University Press, Cambridge, 1989) p. 275.
10. Allan Franklin, en *The Uses of Experiment*, editado por D. Gooding, T. Pinch, and S. Schaffer, (Cambridge University Press, Cambridge, 1989) p. 437.
11. C. Solís, *Robert Boyle, Física, Química y Filosofía Mecánica*, (Alianza Editorial, Madrid, 1985) p. 186.
12. La polémica Boyle-Hobbes está tratada de manera excelente en S. Shapin, y S. Schaffer, *Leviathan and the Air Pump*, (Princeton University Press, Oxford, 1985).
13. C. Solís, *Robert Boyle. Física, Química y Filosofía Mecánica*, (Alianza Editorial, Madrid, 1985) p. 113.
14. Otro resultado en la modificación de esquemas alternativos fue la de la diferenciación colateral entre vacío y ausencia de gravedad. En diversos trabajos se ha reportado que los estudiantes suponen que no hay gravedad cuando no hay atmósfera. En las pláticas informales durante el taller se encontró este modelo en varios estudiantes. Por un lado este esquema indica una relación entre el peso del aire y la gravedad, efectivamente si no hay gravedad no hay atmósfera pero no al contrario. Después de las discusiones con los experimentos descritos, los estudiantes que mantenían este esquema vacío-no gravedad lo modificaron y reconocieron que la ausencia del aire no implica ausencia de gravedad, ninguno de los estudiantes del taller lo mantuvo al final. Ver por ejemplo G.S. Jara, *Rev. Mex. Fís.* 37 (1991) 321.