

LA EXPOSICIÓN MUSEOGRÁFICA COMO APOYO A LA ENSEÑANZA DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

MARÍA DEL CARMEN SÁNCHEZ-MORA

Resumen:

Los museos de las ciencias ofrecen a la educación formal la posibilidad de utilizar sus exhibiciones como materiales didácticos para propiciar el aprendizaje de temáticas cuya presentación en el aula resulta complicada. La mecánica cuántica es un tema complejo, pero se considera que toda persona que posea una cultura científica debería contar con sus principios. Así, se requiere que su divulgación y enseñanza se apoyen en recursos educativos informales como, entre otros, los equipos interactivos de los museos científicos. En este trabajo se evalúa la comprensión, por parte de los docentes de física de bachillerato, de una exposición sobre mecánica cuántica que se exhibe en el Museo de las Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Abstract:

Science museums offer formal education the possibility of using their exhibits as didactic materials for topics that are difficult to present in the classroom. Quantum mechanics is a complex topic, but it is believed that any person with a scientific education should learn its principles. The teaching of quantum mechanics requires the support of informal educational resources, including the interactive equipment of science museums. This article evaluates the understanding of high school physics teachers of a quantum mechanics exhibit at the Science Museum of Universidad Nacional Autónoma de México.

Palabras clave: museos, educación formal, educación informal, divulgación científica, docentes, México.

Key words: museums, formal education, informal education, scientific knowledge, teachers, Mexico.

María del Carmen Sánchez-Mora es subdirectora de Estudios y Formación en Divulgación de la Ciencia de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM. Universum Museo de las Ciencias, Casita de las Ciencias, Zona Cultural de Ciudad Universitaria, delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF. CE: masanche@universum.unam.mx

Introducción

Los cambios en la producción, en la vida social y en los individuos, así como la gran disponibilidad de medios de difusión de la información han creado nuevas demandas educativas. Las respuestas a esta situación han sido, por un lado, la diversificación de ofertas del sistema formal al crear especialidades nuevas y carreras cortas y, por otro, la búsqueda de un mejor funcionamiento del sistema educativo (Lebeau *et al.*, 2001:135).

Un enfoque innovador también condujo a ir más allá del sistema formal, lo que orientó a desarrollar nuevas instituciones educativas (museos, guarderías, escuelas experimentales, secundarias autodirigidas, etcétera). Es decir, se exploraron nuevas modalidades, entre ellas las llamadas educación *no formal* e *informal*,¹ bajo la hipótesis de que la educación y la transmisión de la cultura se convierten en una necesidad fundamental de la sociedad, a la que habrá que hacer frente desde diversos ángulos (Valdés, 1999:79-84).

En el presente texto se considera a la exposición museográfica como un instrumento de educación informal, que promueve la enseñanza formal de la ciencia, particularmente de la mecánica cuántica.

Si bien la palabra *cultura* estuvo asociada por mucho tiempo con los dominios histórico, literario y artístico, actualmente se considera que la ciencia y la técnica forman igualmente parte de ésta. A dicha visión han contribuido mucho los ámbitos de educación informal y no formal y, en especial dentro de estos últimos, los museos científicos y técnicos (Falk y Dierking, 2000:2-13).

Hablar de museos científicos en general implica una gran simplificación, pues se trata de espacios educativos que no sólo muestran objetos auténticos o colecciones que tienen valor por sí mismos y generan cuestionamientos en sus visitantes sino que, además, presentan espectáculos, construyen ambientaciones y ponen a su disposición elementos interactivos que los involucran con los contenidos del museo y que, con una intención lúdica, les permiten experimentar, simular, modelar y retroalimentar sus conocimientos (Screven, 1993:173-174).

En principio, este tipo de exposición responde a la modalidad educativa informal, donde el visitante elige libremente lo que desea conocer o aprender; tampoco necesita de conocimientos previos, ya que la exhibición se los proporcionará. Aunque de origen los museos no habían sido creados pensando en los escolares como grupo mayoritario, tal público constituye cerca de 50% de sus visitantes. Se sabe, a partir de diferentes encuestas realizadas en estas instituciones, que la mayoría de los que acuden son grupos escolares

que llegan al museo con objetivos específicos (Aguirre y Vázquez, 2004:5-6). De esta manera, estas visitas rompen con el carácter voluntario que presupone la educación informal, ya que los estudiantes que acuden en grupo con un plan organizado por su escuela y con sus profesores constituyen un público *dirigido*,² que busca que las exhibiciones del museo apoyen, complementen o amplíen los contenidos curriculares (Sánchez-Mora, 2002:56-72; Valdés, 1999:84; Pérez *et al.*, 1999:63-171).

La oferta educativa de los museos de ciencias

Este trabajo, inscrito en el marco de la educación museística, plantea que el museo cumple su meta de aproximación del público escolar a las ciencias, dentro de la globalidad de la acción educativa; es decir, las modalidades informal y no formal deben ser consideradas como una suma compleja que, junto con la formal, integran sus interacciones y ejercen influencia sobre los estudiantes. Es sobre los docentes –que actúan como mediadores en su calidad de enlaces entre el museo y la escuela– en quienes recae la tarea de integrar las mencionadas modalidades educativas.

A través de la exposición (que es el lenguaje de los objetos propios del museo) y de los recursos didácticos se ofrece, por una parte, una función informal de divulgar contenidos científicos a los grupos de estudiantes de diversos niveles académicos; una no formal, cuando posibilita involucrarlos en programas educativos definidos y perfectamente planeados sobre diversas temáticas y, finalmente, al facilitar el recurso de apoyo didáctico como un complemento a la educación formal, se convierte en un valioso instrumento para la enseñanza escolarizada (Aguirre y Vázquez, 2004:3).

Los recursos didácticos del museo

Los museos y centros de ciencia utilizan a los llamados dispositivos interactivos como recurso prioritario para ejercer su acción educativa en las modalidades anteriormente descritas.

Entre los dispositivos interactivos está un conjunto de elementos museográficos que provienen de diferentes medios de comunicación, entre otros: maquetas animadas, mecanismos electrónicos o mecánicos, imágenes, sonidos, juegos electrónicos, computadoras, audiovisuales y videos. En las exposiciones existe una tendencia bastante generalizada a referirse como *elementos interactivos* a aquéllos donde están involucradas las computadoras o que dependen de sistemas informáticos. Sin embargo, el término *interactividad*

es un concepto más amplio, en el que está implicado la posibilidad de ofrecer al público la oportunidad de experimentar fenómenos, de participar en los procesos relacionados con la ciencia, de intervenir en demostraciones o en adquirir información de manera abierta y con posibilidades de retroalimentación.

En ese sentido, el discurso científico que emite el museo se transmite, sobre todo, mediante la práctica de destrezas y habilidades, es decir, de acciones vividas por el visitante. De tal manera, los dispositivos interactivos imponen una nueva estrategia de comunicación, que consiste en ofrecer al visitante la manipulación y experimentación de objetos y fenómenos científicos para una mejor comprensión de la ciencia. La interactividad está considerada como una pedagogía no directiva,³ y es un concepto museográfico que se ha extendido ampliamente, incluso a museos de temáticas no científicas.

Hay que señalar que el grado de interactividad que ofrece un determinado dispositivo depende del tipo de fenómeno a observar o de la actividad a realizar. Habrá casos donde sea posible ofrecer una máxima interactividad, esto es, se puede controlar el mayor número de variables sin afectar la comprensión de lo que se quiere transmitir. En otras circunstancias, debido a la dificultad de exhibir algunos fenómenos científicos, la interactividad será mínima. En todo caso, hay que tener presente que este tipo de museo va más allá de informar, también entretiene y tiene como visión última alejar al visitante del concepto negativo con el que suele mirar a la ciencia.

De acuerdo con lo descrito, en este artículo se explora el uso potencial de los docentes, mas no de los estudiantes, de los dispositivos del museo interactivo de ciencias como apoyo a la enseñanza de la física cuántica.

La experiencia escolar en los museos de ciencias

Las instituciones educativas formales pueden hacer uso del museo con el propósito de que sus alumnos profundicen en el estudio de determinados aspectos de sus programas. Esto se facilita debido al lenguaje característico del museo y a su original sistema de comunicación. De esta manera, docentes y alumnos pueden aprovechar las exposiciones para aumentar la eficacia de los métodos de aprendizaje habitualmente aplicados a los programas que marcan las instancias educativas formales. Así, el museo se convierte en un instrumento de aprendizaje, cuyo mayor o menor grado de éxito dependerá, fundamentalmente, de la forma en que el museo sea utilizado por los actores del proceso educativo.

El hecho de que el museo de ciencias funcione como recurso didáctico para apoyar la educación formal no elimina totalmente el carácter liberal de las visitas, en la medida que éstas son programadas por los profesores, lo que implica que ellos adaptarán la visita a sus necesidades y, por supuesto, a sus propios intereses y conocimientos (Aguirre y Vázquez, 2004:6). En este sentido, el docente será la pieza clave para que el uso del museo como instrumento didáctico sea exitoso, pues la comprensión que él logre de los principios exhibidos y el manejo que haga y sugiera de los dispositivos influirá en la planeación que pueda hacerse de la futura visita escolar. Pero tal éxito no depende exclusivamente de las intenciones del profesor, ni de su preparación previa; la lectura e interpretación que él haga de los dispositivos del museo serán determinantes para la realización de una visita con intenciones didácticas y, en esa medida, la calidad de la comunicación entre los equipos del museo (el diseño, concepción y mensajes emitidos) y los usuarios será el factor más importante a considerar en el alcance que la modalidad educativa formal del museo pueda lograr. Como es de esperarse, los mensajes que el museo transmite estarán influidos, a su vez, por quienes los emitan, por cómo esos mensajes se traducen en dispositivos interactivos y, desde luego, por la complejidad de la temática exhibida.

La mecánica cuántica como parte de la cultura científica

El siglo XX se caracteriza por la existencia de un nuevo punto de vista científico sobre los fenómenos físicos (Hazidakis, Kalkanis y Stavrou, 2000:390). En particular, el desarrollo de la mecánica cuántica define una nueva forma de ver el mundo; por ello es que se considera que la actual educación en física debiera buscar un acercamiento por lo menos cualitativo a la mecánica cuántica.

El surgimiento de la teoría de la relatividad y de la mecánica cuántica no sólo propició un marco teórico completamente nuevo para toda la física; la primera cambió las ideas del espacio y el tiempo, y la segunda introdujo el indeterminismo, de manera que han cambiado la visión del mundo para los físicos (Müller y Wiesner, 2002:201).

La mecánica cuántica define una nueva visión de la naturaleza; por ello es que no sólo los físicos debieran tener el privilegio de entender cómo funciona el mundo, sino que los ciudadanos cultos podrían, por lo menos, tener la posibilidad de conocer o acercarse a los fenómenos cuánticos (Cataloglu y Robinett, 2002:238).

Aunque para la gran mayoría de los no especialistas, la mecánica cuántica es vista como un tema esotérico y de interés únicamente para los físicos teóricos se trata, precisamente, de la teoría que nos permite entender muchas de las propiedades de la materia que observamos a diario; por ejemplo, por qué el vidrio es transparente, por qué el cobre conduce la electricidad, por qué la luz de las lámparas de sodio es amarilla o en qué consiste el efecto fotoeléctrico (Redish y Steinberg, 1997:3). Además, es la base de la tecnología actual: los aparatos como el láser, los implementos de imagenología médica y los relojes atómicos dependen de la naturaleza cuántica de la materia. Por otro lado, hay temas que se podrían aclarar con su enseñanza y donde la física clásica es improductiva, como los espectros de emisión de los átomos, y ciertos aspectos de la nanotecnología y la semiconducción. Sin embargo, al ser difícil el acercamiento a este tema, su abordaje, tanto en la divulgación como en la enseñanza de la ciencia, requiere de un tratamiento adecuado y accesible.

Las dificultades en la enseñanza-aprendizaje de la mecánica cuántica

Para Steinberg *et al.* (1999:4), la comprensión de la mecánica cuántica reviste una gran importancia no sólo para los futuros físicos, sino también para los ingenieros químicos y los biólogos. Por otra parte, Olsen (2002:566) opina que si se busca facilitar la creación de nuevas tecnologías, debemos encontrar una manera de promover en muchos más estudiantes la comprensión de las leyes físicas que gobiernan el comportamiento cuántico. Sin embargo, un siglo después de que Max Planck introdujera la noción del *cuanto*, los cursos de física preuniversitarios en todo el mundo se siguen refiriendo, en la generalidad, únicamente a los tópicos de la llamada física clásica.

Budde *et al.* (2002:198) insisten en que para lograr un acercamiento cualitativo a la mecánica cuántica se requiere una estrategia educativa sustentada en bases epistemológicas y educativas sólidas, punto en que coincide con Hadizaki (2000:388).

Tanto Steinberg como otros investigadores han manifestado su preocupación porque el enfoque clásico en la enseñanza de la física más bien parece impedir la comprensión cabal de ciertos fenómenos; tal es el caso de la fotoelectricidad o el efecto de los rayos X aunque, desde luego, ambos temas pueden ser explicados y comprendidos a partir de conceptos clásicos, en particular el de energía. Investigadores como Olsen (2002:566) coinciden en que la comprensión de la mecánica cuántica se ve afectada

por las bases de física clásica que poseen los estudiantes, donde de por sí muestran concepciones erróneas fuertemente arraigadas. En cambio, para Redish y Steinberg (1997:3), aunque la mecánica cuántica hace un rompimiento sustancial con la mecánica clásica, tanto en su estructura como en sus conceptos, la primera requiere la comprensión de las ideas clásicas. Por otra parte, Bao y Steinberg (1996:4) sugieren que, más bien, la dificultad principal para la comprensión de la mecánica cuántica proviene de las confusiones con el concepto clásico de energía y que, por ejemplo, los problemas en la comprensión del comportamiento de los conductores y los semiconductores por parte de los estudiantes se deben a que no tienen experiencias previas en estos temas.

De acuerdo con lo anterior, pese a que la mecánica cuántica es, entre otras cosas, una puerta que abre posibilidades a la comprensión de la tecnología del futuro, la falta de referentes con el mundo real, dificulta su enseñanza y divulgación (Tsaparlis, 2001:132; Blanco y Niaz, 1998:352; Shiland, 1997:536). Esta falta de referentes no es privativa de la mecánica cuántica: es una dificultad constante en la enseñanza de la física y la química (Pozo y Gómez-Crespo, 1998:149-205), pues implica lograr en los alumnos lo que se ha llamado *relativismo*; caracterizado por una interpretación de la realidad a partir de modelos como son, por ejemplo, los números cuánticos que en algún momento los estudiantes debieran comprender que no tienen por qué ser entes reales, sino que se aceptan como construcciones abstractas que ayudan a interpretar la naturaleza de la materia y sus propiedades (Pozo y Gómez-Crespo, 1998:201).

Este tipo de problemas se han documentado ampliamente para el aprendizaje de la teoría de la relatividad (Alemañ y Pérez, 2001:102-103). Dicho autor señala que las dificultades se deben, generalmente, a la falta de hábito de concebir el mundo físico como un entramado espacio-temporal en cuatro dimensiones (distinto al simple espacio tridimensional) con unas propiedades geométricas peculiares.

Pero las dificultades mencionadas no son privativas de los estudiantes; Kalkanis, Hadzidaki y Stavrou (2003:259) han encontrado que son comunes en los maestros de física en formación, y por ello proponen que la mecánica cuántica se introduzca desde el principio de la educación en física ya que, a su modo de ver, las concepciones erróneas en este campo de conocimiento son el resultado del aprendizaje preuniversitario de la mecánica clásica, que genera a los estudiantes serias confusiones. Los mismos

autores asumen que estas concepciones erróneas forman barreras epistemológicas que obstruyen la comprensión de la mecánica cuántica, tanto en los alumnos como en los docentes.

Para Hazidaki, Kalkanis y Stavrou (2000:386) muchas de las dificultades que entraña la enseñanza de la mecánica cuántica se reducirían si se permitiera que sus ideas básicas fueran accesibles en etapas tempranas de la educación en física. Esto se lograría si se propusiera la introducción, previa a la mecánica clásica, de los conceptos de la física moderna con lo que se evitarían, según los autores, las concepciones erróneas. Con ello se permitiría a los estudiantes que no serán especialistas en física, que alcancen las ideas básicas de una teoría que ha introducido modificaciones radicales al pensamiento humano. El presupuesto de que este tema resultaría más accesible a quienes no están *contaminados* con el aprendizaje escolar puede parecer osado si partimos de que, como lo han mostrado muchas investigaciones, en realidad lo que sucede es que quien aprende está anticipando su conocimiento del mundo basado en hechos observables.

Al mismo tiempo, Cataloglu y Robinett (2002:240) señalan que la visualización es una forma de comunicación que trasciende las aplicaciones y las fronteras tecnológicas, por lo que constituye una importante herramienta para la comprensión y el aprendizaje de la ciencia y, particularmente, para la enseñanza de la mecánica cuántica. En este sentido, el museo de ciencias ofrece una magnífica alternativa para el acercamiento a la mecánica cuántica a partir de la visualización, ya que ésta es un medio inherente a la exposición museográfica.

El tratamiento de la mecánica cuántica en los museos

De acuerdo con un estudio preliminar de Torres (2003:5-7), a pesar de que la mecánica cuántica corresponde a una de las principales revoluciones científicas, todavía es desconocida por la mayoría del público, por lo que es necesario desarrollar instrumentos específicos para mejorar su divulgación. Esta autora piensa que los museos pueden desempeñar un papel muy importante en ese sentido, ya que ofrecen un excelente marco para comunicar el conocimiento científico y con la gran variedad de medios que manejan pueden ser especialmente efectivos para acercar al público al complejo tema de la física moderna.

Aun así, hay muy pocas exposiciones sobre mecánica cuántica en el mundo, pues la mayoría de los museos todavía la excluyen de sus temáticas. Tan es

así, que el propio trabajo de Torres –aunque no ha sido publicado formalmente pues a la fecha era una tesis en proceso– ha circulado entre diversos centros de ciencia que exponen temas relacionados con mecánica cuántica, como un primer intento de llamar la atención sobre esta problemática y de conjuntar las experiencias, con miras a definir la mejor forma posible de exponer el tema en un museo. En un intento por encontrar una explicación a la escasez de exposiciones sobre mecánica cuántica a nivel mundial, Torres realizó varias encuestas con directivos de diferentes museos de ciencia y encontró tres razones que parecen explicar la situación. La primera es que la mayoría de los museos han evitado el tema debido a que requiere el tratamiento de conceptos y marcos teóricos de difícil comprensión (incluso para los adultos con mayor bagaje educativo y cultural), especialmente para niños y jóvenes, que constituyen su público mayoritario.

La segunda razón considera los obstáculos cognitivos; se parte de que la visualización potencial de un fenómeno está íntimamente relacionada con la capacidad de comprensión que desarrolle un individuo. Como los fenómenos cuánticos ocurren en un mundo microscópico no detectable para el ser humano a través de la intuición o los sentidos, la representación de esta área de la ciencia resulta un reto muy difícil de salvar.

La tercera razón se refiere al lenguaje museístico más que al reto epistémico. De acuerdo con los resultados reportados por la autora, para los museógrafos resulta complejo introducir objetos que ilustren escalas subatómicas y dispositivos que muestren los principios cuánticos. Este último punto se traduce en que, para exhibir la mecánica cuántica, los museos que presentan el tema (el Exploratorium, el Deutsches Museum de Munich y el Science Museum de Londres) tomaron alguno de los siguientes caminos:

El primero es exponer la mecánica cuántica a partir de los objetos con los que se realiza su estudio, visión que deja la impresión de que los fenómenos cuánticos sólo pueden enmarcarse en el contexto de un laboratorio; el segundo es exponer la mecánica cuántica a partir de los sucesos científicos e históricos que dieron lugar a su surgimiento; en este caso, se exponen modelos atómicos, fotografías y biografías de científicos, y se enfatizan las aplicaciones en la vida cotidiana.

Coincidientemente, la exposición conceptualizada y construida por *Universum*, el Museo de las Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, sobre mecánica cuántica utiliza ambos enfoques y ha apostado a que es posible mostrar al público que existe otra manera de pensar en física a través de la

visualización, tanto de los experimentos como de las aplicaciones y de los hombres que propusieron este cambio paradigmático en la ciencia.

La propuesta de *Universum* sobre la mecánica cuántica

A partir de la revisión de otros museos, aportada por el estudio preliminar de Torres (2003:5), se ha encontrado una gran coincidencia por parte de *Universum* con los dos aspectos que se sugieren como problemáticos al exhibir este tema por medio del discurso museográfico, como son las complicaciones museográficas y las dificultades epistemológicas para transmitir los contenidos. Efectivamente, pareciera que los conceptos involucrados en la comprensión de la mecánica cuántica, al no ser intuitivos o empíricos, dificultan la representación museográfica y la apropiación del conocimiento científico por parte del visitante. Algunos divulgadores que participaron en esta exposición, denominada *Expo Q*,⁴ comentaron que uno de los mayores retos para desarrollarla consistió en explicar la mecánica cuántica a los diseñadores de la exposición, para garantizar una correcta representación de las premisas científicas.

La exposición consta de más de 30 dispositivos, entre carteles, videos, equipos interactivos y escenarios. Está concebida en forma circular alrededor de una estructura separada en cinco gajos que permiten hacer seis espacios que se prestan a una división temática e histórica. Posee, además, un muro donde se presenta una historieta sobre las partículas subatómicas, una zona abierta de equipos interactivos, un muro de cierre que expone la obra del pintor holandés Mondrian, y otra zona limítrofe en la que se habla, por un lado, de la nanotecnología y, por otro, de algunas aplicaciones de la mecánica cuántica. La exposición está concebida en forma de una línea de tiempo que recorre los treinta años del desarrollo y consolidación de la mecánica cuántica (1900 a 1930). En ella se presentan las ideas centrales de esta teoría, particularmente el concepto de *cuanto* (*quantum*).

En otra parte se presentan algunas de las aplicaciones de la mecánica cuántica como los transistores, el láser y algunos equipos médicos de tratamiento o diagnóstico.

Si se revisa la tabla 1, en la que solamente se muestran los dispositivos principales y sus objetivos educativos, se verá que estos últimos se refieren en su mayoría a señalar algún concepto de la mecánica cuántica, sin pretender necesariamente explicarlo, y lo que se exhibe a través de las computadoras y los equipos interactivos son experimentos o algunas explicaciones básicas de la mecánica cuántica.

TABLA 1

Objetivos propuestos por los diseñadores de la exposición para algunos de los dispositivos más representativos de Expo Q

Equipo	Objetivo
Equipo de rayos X	Explicar la naturaleza de los rayos X, su descubrimiento y aplicaciones
Equipo cámara de niebla	Explicar el proceso de desintegración espontánea
Equipo Geiger Müller	Explicar el funcionamiento de un detector Geiger Müller
Equipo cuerpo negro	Explicar la radiación de cuerpo negro
Equipo efecto fotoeléctrico	Se desea demostrar: la emisión de electrones por la incidencia de la luz en una placa metálica; la posibilidad de utilizarlo para fines de control. La existencia de una frecuencia umbral, debajo de la cual ya no se produce el efecto fotoeléctrico
Panel que explica el problema de los calores específicos	Mencionar en qué consiste el problema de los calores específicos. Definir el fotón
Equipo movimiento browniano	Mostrar qué ayudó a determinar experimentalmente el tamaño del átomo
Equipo experimento Franck-Hertz	Mostrar que los átomos de un gas absorben energía por paquetes
Simulación del experimento de Franck Hertz	Mostrar la forma en que se realiza el experimento de Franck Hertz
Equipo espectro del hidrógeno	Mostrar el espectro de emisión del hidrógeno. Resaltar que cada gas tiene un espectro característico
Espectro de gases	Mostrar el espectro de emisión de tres gases. Hacer notar que en el espectro de emisión hay un orden y que la cuántica explica este orden. Resaltar que cada gas tiene un espectro característico
Simulación spectrum	Mostrar con un juego en computadora por qué un átomo sencillo puede tener un espectro de emisión y de absorción complicado
Equipo experimento de difracción de electrones	Mostrar experimentalmente la difracción de electrones
Experimento de difracción de la luz	Mostrar que el patrón de difracción depende de la forma del objeto
Simulación de difracción de electrones y fotones	Mostrar algunos de los parámetros importantes que participan para obtener la difracción tanto de electrones como de los fotones
Juego sobre el principio de exclusión	Explicar el principio de exclusión
Espectro difractómetro de rayos X	Mostrar un equipo de investigación que se usó para determinar la estructura cristalina de materiales
¿Cuánto mides en nanómetros?	Resaltar que las dimensiones cuánticas son extremadamente pequeñas
Comparación entre un bulbo y un transistor	Mostrar las ventajas del transistor frente al bulbo, en cuanto a compactación y gasto energético

La evaluación de *Expo Q*

La evaluación de las exposiciones inicia con los primeros estudios sobre los visitantes desde mediados del siglo pasado. Estos trabajos han tenido un gran desarrollo a partir de los años sesenta y han sido determinantes en muchos casos del proceso de elaboración de las exposiciones.

Screven (1993:173) define la evaluación en museos como la apreciación sistemática del valor de una presentación, de una unidad o de una sala de exposición, en función de los objetos educativos y con el propósito de tomar decisiones en cuanto a su pertinencia y a la necesidad de sugerir o realizar cambios tendientes a una mejoría. Este mismo autor es uno de los pioneros en proponer diversas etapas de evaluación de las que la sumativa,⁵ que se realiza después de la apertura de la exposición, es la que compete a este trabajo. Su fin principal es servir de experiencia en la elaboración de futuras exposiciones y su objetivo es conocer sus puntos más representativos así como los más débiles. En consecuencia, este tipo de evaluación ofrece la posibilidad de conocer el impacto que la exhibición ha tenido en el público, definir con claridad el mensaje y, sobre todo, hacer que éste sea más eficaz al conseguir un mayor grado de comunicación con el público meta.

Para el caso particular de este trabajo, únicamente se buscó evaluar la lectura que los docentes de bachillerato hacen de la exposición de mecánica cuántica y, en particular, la posibilidad que encuentran de utilizarla como apoyo para la enseñanza de la física, desde el punto de vista de la educación formal. Desde la perspectiva del museo como medio educativo informal, el interés de la evaluación se centró en tratar de dilucidar la capacidad comunicativa de la exposición a través de sus dispositivos interactivos.

Metodología

Como ya se mencionó, este trabajo evalúa hasta qué punto el museo cumple con la intención de aproximar a los docentes a la mecánica cuántica (y, por ende, a los alumnos a través de sus maestros) mediante el ejercicio de las modalidades educativas formal e informal, mediadas por los profesores, en su calidad de enlaces entre el museo y la escuela. En este sentido, se ha considerado que la comprensión de los maestros sobre la exposición *Expo Q* sirve de indicador para evaluar su posible uso como apoyo didáctico.

En el ambiente de los museos se han empleado tres métodos principales para obtener los puntos de vista de los visitantes: cuestionarios, entrevistas y grupos de enfoque aunque, en general, se suelen utilizar combinaciones de estos tres.

Para el presente estudio, en el que se pretendía conocer la opinión de los maestros de bachillerato sobre la posibilidad de utilizar una exhibición museográfica en apoyo a la materia de física,⁶ se trabajó de la siguiente manera:

a) A un grupo de 50 profesores⁷ de física de bachillerato se les pidió que visitaran *Expo Q* y que expresaran por escrito, de acuerdo con un guión,⁸ sus opiniones sobre ella. Éste hacía hincapié en que señalaran la posibilidad de que la exposición fuera adecuada para el nivel de conocimiento de sus estudiantes y que les permitiera reforzar en el aula el tema introductorio a la mecánica cuántica. De estos maestros, 18 eran egresados de la carrera de física y el resto de las de química, ingeniería y biología. Si bien la metodología más recomendada en los museos sugiere que se trabaje con grupos de enfoque (Taylor, 1998:61), se optó por el cuestionario abierto escrito, ya que era la única forma de conseguir las opiniones de todos los maestros sin presionarlos.

Con estos resultados se hicieron agrupaciones de opiniones tanto positivas como negativas, mismas que se presentan en las tablas 2 y 3. Después se pudo contactar a 12 de los maestros no físicos, a quienes se les preguntó personalmente acerca de sus opiniones sobre la exposición, con objeto de corroborar sus respuestas y tratar de comprender sus apreciaciones.

TABLA 2
Agrupación de las opiniones positivas de los maestros sobre Expo Q (n=50)

Opiniones de los docentes	% de maestros que emiten la opinión	% de maestros Físicos	% de maestros No físicos
Es clara	14	7	93
Es recomendable	6	86	14
Es comprensible	47	24	76
Muestra las experiencias mexicanas	11	—	100
Es didáctica	5	58	42
Es interesante	32	41	59
Tiene buena museografía	6	—	100
Es para todo público	19	79	21
Suple al laboratorio escolar	69	71	29

TABLA 3
Agrupación de las opiniones negativas de los maestros sobre Expo Q (n=50)

Opiniones de los docentes	% de maestros que emiten la opinión	% de maestros	
		Físicos	No físicos
La exposición es compleja	51	18	82
Contiene exceso de tecnicismos	12	—	100
Le faltan aplicaciones	13	—	100
Las cédulas son inadecuadas	42	89	11
Tiene exceso de información	17	63	37
Hace falta personal que explique	49	26	74
Hacen falta explicaciones	33	52	48
Funciona para niveles superiores a la secundaria	67	91	9
Posee exceso de textos	26	46	54

Para cada categoría de opiniones se calculó el porcentaje de maestros que las emitían según su carrera de procedencia, y que aparecen en las mismas tablas 2 y 3. Los tres dispositivos que recibieron las mejores opiniones de los docentes así como los tres que fueron calificados como los peores se registran en la tabla 4.

Debido a que los docentes que participaron en este estudio visitaban la exposición por primera vez, se consideró importante contrastar sus opiniones con las de diversos especialistas, tanto en física como en museografía, con el objeto de analizar las coincidencias y así descartar la subjetividad de sus opiniones, según el método propuesto por Taylor (1998:46-52).

TABLA 4
Opiniones sobre dispositivos particulares

Mejores dispositivos	% de opiniones	Peores dispositivos	% de opiniones
Los premios Nóbel	57	Mov. Browniano	69
Nanotecnología	11	Microscopio elec.	13
Contador Geiger	10	Efecto fotoeléctrico	12

Para conocer primero las opiniones de expertos y sistematizarlas, se hizo una adaptación de la técnica llamada *evaluación heurística* (Nielsen, 1994:32-36) empleada por los diseñadores de *software educativo*.⁹ En el presente estudio se tomaron como heurísticos básicos las categorías de opiniones emitidas por los maestros y que se muestran en la tabla 5, de acuerdo con el guión abierto antes mencionado, sobre sus impresiones de la visita a la exposición de mecánica cuántica. Anteriormente se habían solicitado sus respectivas opiniones sobre la exposición a cuatro grupos, formados cada uno de ellos por diferentes tipos de expertos: divulgadores de la ciencia, divulgadores físicos, físicos y expertos en mecánica cuántica (MC), cuyas opiniones también se clasificaron por categorías y se compararon con las generadas por los maestros.

TABLA 5
Ánalisis adaptado de evaluación heurística

Opiniones maestros (%)	Opiniones de maestros (agrupadas)	Opiniones de expertos (resumidas)	Tipo de experto
51	Exposición compleja	Se presta a errores de interpretación. No se entiende el mensaje intencionado. La comprensión potencial del tema es superficial. Es factible llevarse ideas erróneas de la ciencia y de los conceptos presentados. Fue diseñada para los físicos. La multimedia está diseñada para estudiantes de física, ofrecen demasiadas variables. Los temas de las cinco computadoras son muy complejos. Una persona sin conocimiento técnico formal en esta disciplina difícilmente podrá entender la exhibición; a un estudiante regular de la carrera de física le costará trabajo entender las explicaciones dadas.	Experto en MC Divulgador físico Divulgador físico Experto en MC Físico
12	Contiene exceso de tecnicismos	En general, todas las descripciones están escritas en un lenguaje muy técnico, sin tomar en cuenta que, debido a la brevedad de los textos, inevitablemente son incompletos y, a veces, imprecisos.	Experto en MC
13	Hace falta mostrar aplicaciones	Se pierde una oportunidad única para hacerle ver a la gente no científica el impacto que este conocimiento ha tenido y tiene en su vida actual y cotidiana. Se muestran pocas aplicaciones o conexiones entre la mecánica cuántica y la vida cotidiana.	Experto en MC (CONTINÚA)

TABLA 5 (CONTINUACIÓN)

Opiniones maestros (%)	Opiniones de maestros (agrupadas)	Opiniones de expertos (resumidas)	Tipo de experto
42	Cédulas inapropiadas	En cuanto a los juegos no son comprensibles sus instrucciones. Considero que la exposición es adecuada como para un repaso de mecánica cuántica. Claro después de que se modifiquen las cédulas.	Experto en MC Experto en MC
17	Contiene exceso de información	Muchos de los experimentos son muy atractivos, sin embargo, es necesario rehacer la mayoría de los textos que son imprecisos y contienen exceso de información.	Físico
49	Hace falta personal que explique	No hay opiniones.	
33	Faltan explicaciones	Hace mucha falta una ilustración que ejemplifique el comportamiento ondulatorio de la materia, así como ejemplos de huellas atómicas. Para entender por qué es asombrosa la dualidad onda-partícula hay que entender primero qué son las ondas y qué son las partículas, además de que son diferentes. La exposición da por sentado que el visitante tiene claros estos conceptos así como diferencias.	Divulgador físico Divulgador físico
67	No es para estud.debajo de bachillerato	Difícilmente podrá ser comprendida por público no especializado.	Experto en MC
26	Contiene exceso de textos	No hay opinión al respecto.	
12	La cronología es confusa	No me gusta que incluya la historia con los conceptos de la mecánica cuántica.	Divulgador físico

Para concluir la evaluación, los reportes elaborados por los distintos expertos son considerados globalmente, con el fin de maximizar las oportunidades de identificar adecuadamente los problemas.

Para evaluar diseños que tienen propósitos educativos, Quinn (1996:439-441) propuso un modelo que incluye la inspección de heurísticos. Este tipo de evaluación consiste en detectar los problemas potenciales del producto que se está revisando; es por ello que no se destacan los puntos positivos, bajo el supuesto de que, al corregir los problemas, el producto tendrá condiciones óptimas para el usuario. Aunque se llevó a cabo una recopilación exhaustiva de las opiniones de diversos expertos tanto en física como en museos (7 divulgadores de la ciencia, 11 divulgadores físicos, 6 físicos y 4 expertos en mecánica cuántica), en la tabla 5, donde se presentan estos resultados, sólo se incluyen –por razones de espacio– de manera muy resumida las opiniones de los expertos que coinciden en la temática de las opiniones generadas por los maestros.

b) Como parte de este trabajo y con la intención de detectar hasta qué punto los docentes comprendían los objetivos de los dispositivos que forman parte de la exhibición, a otro grupo de 156 maestros de física de bachillerato¹⁰ se les aplicó un cuestionario (que se incluye en el anexo 1) en el que deberían cotejar los objetivos que la exhibición proponía originalmente para cada uno de sus dispositivos (la tabla 6 muestra las preguntas de dicho cuestionario, mas no las opciones múltiples con las que los maestros hacían sus cotejos). Este análisis se llevó a cabo bajo la premisa de que si los objetivos de los dispositivos no son comprendidos por los docentes, es nula la posibilidad de que éstos los transmitan a sus alumnos.

Cabe mencionar que la prueba se realizó con las observaciones que los profesores hicieron mientras visitaban la exhibición, es decir, que siempre tuvieron la oportunidad de buscar la respuesta en las cédulas o de deducirlas al poner a funcionar los dispositivos interactivos de acuerdo con sus necesidades.

c) Finalmente, a los mismos 156 maestros se les pidió que escribieran en el reverso del cuestionario anterior, y después de ver la exposición, de qué manera conciben a los electrones en un átomo, ya que, de acuerdo con la literatura, éste es uno de los conceptos básicos que deberían modificarse cuando se logra el mínimo acercamiento a los principios de la mecánica cuántica (Müller y Wiesner, 2002:207).

TABLA 6
*Respuestas a la prueba sobre comprensión
 de los objetivos de los dispositivos de Expo Q*

Preguntas	Frec. de resp. correctas (t= 156 maestros)	Maestros físicos (t= 31)	Maestros no físicos (t= 125)
Muestra algunas consecuencias negativas de la física cuántica	153	31	122
Resalta que las dimensiones cuánticas son extremadamente pequeñas	155	31	124
Muestra algunos parámetros importantes que participan para obtener la difracción tanto de electrones como de protones	109	27	82
Muestra que cada gas tiene un espectro de emisión característico	52	31	21
Muestra el experimento que ayudó a determinar experimentalmente el tamaño del átomo	40	30	10
Muestra dos tipos de amplificadores	39	31	8
Explica el funcionamiento de un detector de radiación	35	30	5
Muestra la aplicación de la radiación electromagnética de gran energía	29	27	2
Explica lo que sucede idealmente cuando la radiación es absorbida y atrapada	27	26	1
Explica el proceso de desintegración espontánea	23	22	1
Demuestra la emisión de electrones por la incidencia de la luz en una placa metálica	18	18	—
Muestra experimentalmente el comportamiento ondulatorio de los electrones	13	11	2
Se muestra el equipo que se usó para determinar la estructura cristalina de los materiales	7	7	—
Muestra que el patrón de difracción depende de la forma del objeto	6	6	—
Muestra la cuantización de la energía	3	3	—
Explica el principio de exclusión	3	2	—
Menciona la energía de oscilación de los átomos de un material	2	3	—

Resultados

a) Como una primera aproximación a la lectura que los maestros hicieron a la exposición se analizaron sus respuestas al cuestionario abierto. En las tablas 2 y 3 se presentan las agrupaciones de las opiniones tanto positivas como negativas de los 50 profesores de física de bachillerato a los cuales se les pidió que visitaran la exposición de mecánica cuántica. Para cada opinión se obtuvo el porcentaje de profesores que las emitían, de acuerdo con su carrera de procedencia, datos que se presentan en las mismas tablas.

El primer dato que puede observarse es que las opiniones de los maestros están polarizadas, por ejemplo, mientras un cierto porcentaje asevera que la exposición es muy clara, otro manifiesta que es sumamente compleja; mientras algunos dicen que faltan muchas explicaciones, otros indican que hay exceso de información, etc. Por otra parte, un gran porcentaje de maestros físicos (86%) expresó que la exposición es “recomendable”, lo que carece de significado concreto. Esto último se corroboró con las entrevistas personales, donde el atributo “recomendable” no tiene un significado preciso.

La opinión positiva más frecuente es que la exposición suple al laboratorio escolar y procede de maestros que son físicos, mientras que la segunda más frecuente es que la temática es comprensible (47%), aunque proviene casi únicamente de profesores que no son físicos. En cambio la opinión negativa más frecuente es que la exposición es apta para estudiantes de nivel educativo mayor que la secundaria (67%), originada casi de la totalidad de los docentes físicos. La siguiente crítica negativa es que es compleja (51%), misma que es mayoritaria para los maestros que no son físicos.

Si se resumen las opiniones negativas, podemos ver que éstas se refieren en la generalidad a la falta de comprensión, ya que versan alrededor de cédulas excesivas o poco claras, a que faltan explicaciones o a que se requiere personal de apoyo que aclare la exhibición. La mayoría de las críticas sobre la complejidad de la exhibición y de su exceso de tecnicismos proviene de maestros que no son físicos, mientras que los sí lo son se refieren a la dificultad de entender las cédulas, al exceso de información pero, sobre todo, a que la exposición no es comprensible por un nivel educativo menor al del bachillerato. Lo anterior señala que mientras más bases tiene un maestro para opinar (dado que su formación es

de físico), sus juicios coinciden en gran medida con las de los expertos (ver tabla 5).

Cabe aclarar que en esta parte del estudio, los maestros –tanto físicos como no físicos– nunca se refirieron ni en sus respuestas escritas ni en las entrevistas a conceptos particulares de la mecánica cuántica; únicamente expresaron que los dispositivos que les parecían mejor logrados eran el video sobre los premios Nóbel, las escalas de la nanotecnología y la presencia en la sala de un contador Geiger. En todo caso se estaban refiriendo a aspectos colaterales de la mecánica cuántica, pero no a los conceptos clave. Lo anterior puede observarse en la tabla 4, en ella se señala que, igualmente, los dispositivos que los profesores mencionan como “los peores” (en general los describen como decepcionantes) se refieren al que muestra el movimiento browniano, al correspondiente al efecto fotoeléctrico (señalan que es poco didáctico) y, finalmente, al microscopio electrónico, del que indican que esperaban que sus alumnos pudieran hacer observaciones y no únicamente que se mirara por fuera. Nuevamente, salvo el del efecto fotoeléctrico, los docentes se están refiriendo a dispositivos que no muestran estrictamente los conceptos de la mecánica cuántica. Lo anterior podría interpretarse ya sea como que la interacción con los dispositivos no lleva a los profesores a involucrarse con la mecánica cuántica o bien que, simplemente, al carecer de las bases mínimas sobre ella, el discurso de esta exhibición está fuera de su alcance.

b) Con respecto de los resultados de la prueba en la que se pidió a los 156 maestros que relacionaran los dispositivos de la exposición con los objetivos educativos que los diseñadores propusieron para su conceptualización, se encontró que de las 17 preguntas (ver tabla 6), únicamente tres recibieron más de 50% de respuestas correctas de la totalidad de los maestros. De estas tres preguntas, dos se refieren a aspectos relacionados con los conceptos que el público asocia más comúnmente con la mecánica cuántica, como la nanotecnología y las consecuencias negativas de la física cuántica. En el caso de la tercera respuesta más frecuente, se pidió a 10 de los maestros, por separado y personalmente, que explicaran su respuesta. Se encontró que el número de respuestas correctas a esta cuestión (difracción de electrones y protones) se debe a que la pregunta permitía deducir la respuesta, aun sin que se comprendiera el dispositivo que representaba dicho principio.

Cuando se analizan los datos de acuerdo con la formación profesional de los maestros, se encuentra (a pesar de que la población de físicos está representada apenas por 19.2% del total de los consultados) que los que son físicos respondieron correctamente a 11 preguntas, es decir, 64% de ellas.

Las preguntas que les representan los mayores problemas de comprensión de los objetivos mostrados por los dispositivos de la exposición a este grupo de maestros, son las que se refieren a principios básicos de la mecánica cuántica, como la energía de oscilación de los átomos, la cuantización de la energía, los patrones de difracción y el principio de exclusión. Dos preguntas que también tienen puntajes muy bajos se refieren a dos experimentos: uno para demostrar el comportamiento ondulatorio de los electrones y otro que muestra el dispositivo que se utilizó para determinar la estructura cristalina de los materiales.

Además, estos resultados señalan que la mayoría de los docentes que imparten física no tienen una formación básica en la materia, aunque tampoco han recibido una de tipo complementaria que les permita, por lo menos, comprender los objetivos de los dispositivos presentados en esta exposición. De esta manera, se encuentra muy difícil que pudieran utilizarla como apoyo a la enseñanza, a menos que tan sólo enviaran a sus estudiantes a conocer superficialmente los dispositivos que muestran algunos de los principios de la mecánica cuántica. Pero, salvo los profesores con una formación básica en física, parece difícil que los docentes de bachillerato fungieran en la exposición como vínculos entre los equipos interactivos y sus alumnos.

c) En la tabla 7 se consignan las opiniones de los 156 maestros acerca de cómo conciben a los electrones en un átomo. Como puede observarse, 21% mantiene la concepción del modelo de Bohr, 11% habla de nubes de electrones (explicación que se relaciona con el modelo de Bohr) y 41% menciona orbitales con distribución probabilística. El resto emitió opiniones que no pertenecen a estas categorías o no contestaron. Si, de acuerdo con Müller y Wiesner (2002:207), éste es uno de los conceptos básicos que deberían modificarse cuando se logra el mínimo acercamiento a los principios de la mecánica cuántica, es notorio que la exposición no fue exitosa en este sentido. Cuando se entrevistó personalmente a algunos de los maestros, la mayoría mencionó que no se había percatado de que la exposición siquiera mencionara el tema.

TABLA 7
Concepciones acerca del átomo de 156 maestros de bachillerato

Agrupaciones de las concepciones de los maestros	Opiniones (%)
Modelo de Bohr	21
Nubes de electrones alrededor del núcleo	11
Orbitales de distribución probabilística	41
Otras o no contestó	27

Discusión

Schiele (1992:73) sugiere que en toda exposición deben diferenciarse dos aspectos estructurales distintos. Uno responde a su concepción, planeación y realización, que se materializan en la creación de un espacio que, en sí, puede considerarse como un lenguaje. El otro aspecto hace referencia a la forma de articulación de los medios y objetos de exposición para crear un cierto mensaje que, invariablemente, nos lleva a tener presente al público potencial que la visitará (Davallon, 1986:241-242). De acuerdo con el guión original, *Expo Q* se diseñó para todo público, pero resulta evidente –tanto de las opiniones de los expertos como de los docentes– que en términos de la complejidad del tema y de la forma en que fue tratado, la exposición está dirigida a un público por lo menos con una preparación académica mayor al bachillerato. Incluso, los mismos docentes y más aún, los que son físicos de profesión, tienen dificultades para comprender la exhibición e interpretar sus objetivos, de manera que se mira lejana la posibilidad de que la exposición pudiera utilizarse, tal como está, como apoyo a la enseñanza, a menos que los profesores recibieran un mayor soporte por parte del personal del museo o de divulgadores de la ciencia, para poder manejarla adecuadamente. Hay que recordar que 49% de los maestros encuestados sugieren que se necesita personal del museo que los apoye para lograr una mejor comprensión. Desde luego, se están refiriendo a sí mismos y no a sus estudiantes.

En los resultados que se muestran en la tabla 5 –que corresponden a la adaptación de la llamada “evaluación heurística”– se ha observado que la mayoría de las opiniones positivas sobre *Expo Q* corresponde a los maestros que no tienen una formación en física, mientras que quienes emiten

la mayoría de las apreciaciones sobre falta de claridad, comprensión y explicaciones son los maestros que tienen formación como físicos. Lo anterior señala que mientras mayor sea el conocimiento del tema por parte de los docentes, menores son sus apreciaciones positivas a la exposición en términos de su empleo para apoyo didáctico.

También resulta interesante notar las coincidencias de las opiniones de los maestros físicos con las de los expertos. Esto señala que la exposición puede permitir un acercamiento superficial al tema de la mecánica cuántica, pero no comprender sus principios como para poder apoyarse en ella cuando el tema se enseña en el aula. Sin embargo, los maestros con formación en física consideran que la exposición los puede apoyar didácticamente, aunque la percepción global de todos los profesores que comparten esta opinión es tan sólo de 5%. Los maestros físicos señalaron en entrevistas personales que consideran un apoyo didáctico el que los estudiantes “observen” algunos aparatos y experimentos a los que difícilmente tendrían acceso en el ámbito escolar.

De acuerdo con Schiele (1992:71), toda exposición científica es, en realidad, un “mensaje-exposición”, cuya meta es transmitir una determinada información. Así, los equipos, cédulas y objetos exhibidos constituyen el vehículo de una estrategia de comunicación que supone, por un lado, un sistema de emisión de mensajes desde la exposición y, por otro, una relación de comunicación entre el público y la ciencia. En este sentido la exposición, cuando mucho, permite a los docentes aproximar a sus estudiantes a una puesta en escena sobre el panorama histórico en el que se desarrolló la mecánica cuántica, así como la visualización de algunas de sus aplicaciones prácticas. Lo anterior se desprende de los resultados asentados en la tabla 6, donde se pueden apreciar las dificultades que los propios docentes tienen para comprender los objetivos originalmente planteados en los dispositivos.

A partir de las opiniones de expertos y docentes acerca de su percepción de las cédulas, las explicaciones, la carencia de mapas y la falta de personal que explique, se ha hecho evidente que los emisores de los mensajes en esta exposición han sido los especialistas, quienes se dirigen a sus pares, es decir, los creadores de la exposición son expertos en física cuántica que “hablan” con público también experto. Al respecto, Schiele y Boucher (1994:178-179), al referirse al análisis del eje de representación de una exposición, mencionan que su organización espacio-temática establece relaciones dialécticas entre las diferentes partes de la exposición, los recursos,

las diferentes esferas de toda exposición y los receptores, que pueden ser, el “mundo de cada uno”, el “mundo del grupo” y el “mundo del especialista”. En *Expo Q*, esa relación dialógica se ha establecido evidentemente en el “mundo del especialista”.

También ha sido interesante constatar que frente a la pregunta planteada a los docentes sobre cómo conciben los electrones en un átomo, se han encontrado fuertes coincidencias con lo reportado por Müller y Wiesner (2002:207), ya que para ellos, 17% de una población de estudiantes, encuestada al respecto después de la enseñanza, mantiene la concepción del modelo de Bohr; 14% habla de nubes de electrones y tan sólo 38% de orbitales con distribución probabilística. Resulta notorio que aun cuando los maestros encuestados se dedican a dar clase de física, utilizan en sus explicaciones el modelo de Bohr y que después de visitar la exposición, tampoco se modifica esta imagen (Müller y Wiesner, 2002:207).

De acuerdo con las intenciones originales de los museos científicos, los objetos y otros elementos de comunicación que estos espacios utilizan se ofrecen como una posibilidad de activar todos los sentidos del visitante y de darle la oportunidad de ser protagonista de sus propios descubrimientos, al experimentar con los objetos que se le presentan para su manipulación. Es evidente que tales descubrimientos no ocurren en esta exposición, puesto que los dispositivos, cuyo objetivo es hacer demostraciones experimentales (por ejemplo, el que presenta la cuantización de la energía, el equipo que señala experimentalmente el comportamiento ondulatorio de los electrones o bien, el que consiste en el aparato que se utilizó para determinar la estructura cristalina de los materiales), son menos comprendidos aun para los docentes físicos.

Hay que recordar que la intención de las exposiciones interactivas como *Expo Q* es que a través del uso de sus dispositivos los visitantes se conviertan en sujetos activos que tengan una relación directa con los objetos mediante su manejo o la simple contemplación de cómo otros los manipulan. En otras palabras, el visitante debiera experimentar de forma directa, viva y lúdica el hecho científico, sobre todo si se trata del público escolar. Dadas las dificultades para la comprensión de los dispositivos exhibidos, *Expo Q* se convierte en una exposición contemplativa, donde los maestros tan sólo lograrán utilizar como recursos didácticos algunos de sus contenidos históricos y ciertas aplicaciones prácticas. Esta exposición permite, si acaso, que los docentes lleven al museo a sus estudiantes para que se enteren

de la existencia del tema, pero no propicia la transmisión de los principios básicos de la mecánica cuántica.

La continua demanda de explicaciones mejores en cédulas y guías por parte de los maestros denota, de acuerdo con los resultados obtenidos, que la exposición les es complicada. En este sentido, *Expo Q* no cumple con su meta de acercamiento del público escolar (docentes y alumnos) a los conceptos de la mecánica cuántica mediante la integración de las modalidades educativas informal y formal; esto significa que la exhibición a través de equipos interactivos, tal como los presenta *Expo Q*, no propicia que los docentes actúen como enlaces entre el museo y la institución educativa formal.

Conclusiones

Se ha propuesto que en el museo de ciencias ocurra una integración de modalidades educativas, entre las cuales el docente debiera fungir como intermediario. Es decir, el museo debería proporcionar elementos propios de la educación informal para que el profesor los pueda utilizar como instrumentos didácticos dentro de la modalidad educativa formal. Para que esto ocurra, el museo debe facilitar al docente, en primer lugar, el acercamiento conceptual a los dispositivos que expone.

La exposición aquí analizada representa un esfuerzo para que el público general se entere de la existencia de la mecánica cuántica, sin embargo, no promueve que los maestros de física de bachillerato la utilicen como apoyo didáctico, ya que la experiencia que viven frente a los dispositivos exhibidos es contemplativa debido, en gran parte, al problema de la comprensión epistémica que los conceptos de la mecánica cuántica representan para los propios docentes y que la exposición no les permite superar.

Expo Q permite a sus visitantes en general enterarse de algunas aplicaciones de la mecánica cuántica, conocer acerca de los científicos involucrados en su desarrollo y tener acceso a algunas demostraciones de sus principios, pero resulta poco útil como apoyo a la enseñanza de la mecánica cuántica en bachillerato, dado que a los docentes no les resultan claros los objetivos originales propuestos por los conceptualizadores y diseñadores de cada uno de los dispositivos exhibidos. Para que la visita escolar de bachillerato a *Expo Q* sea fructífera en términos didácticos, los profesores de este nivel requieren que esta exposición les ofrezca cédulas más accesibles desde el punto de vista conceptual y, sobre todo, que el museo establezca un vínculo estrecho de comunicación entre los profesores y el personal especializado del mismo.

Anexo 1

Cuestionario

NOMBRE _____

PROFESIÓN _____ PLANTEL _____

CURSO QUE IMPARTE _____ GRADO _____

1. Equipo que muestra la aplicación de la radiación electromagnética de gran energía
 - a) Equipo de rayos X
 - b) Equipo cámara de niebla
 - c) Equipo de Geiger Müller
2. Equipo que explica el proceso de desintegración espontánea
 - a) Equipo cuerpo negro
 - b) Equipo cámara de niebla
 - c) Equipo Geiger Müller
3. Explica el funcionamiento de un detector de radiación
 - a) Equipo movimiento browniano
 - b) Equipo experimento Franck-Hertz
 - c) Equipo Geiger Müller
4. Explica lo que sucede idealmente cuando la radiación es absorbida y atrapada
 - a) Equipo cuerpo negro
 - b) Equipo movimiento browniano
 - c) Equipo experimento Franck-Hertz
5. Equipo que demuestra la emisión de electrones por la incidencia de la luz en una placa metálica
 - a) Equipo experimento Franck-Hertz
 - b) Equipo Geiger Müller
 - c) Equipo efecto fotoeléctrico
6. Equipo que menciona la energía de oscilación de los átomos en un material
 - a) Simulación del experimento de Franck-Hertz
 - b) Panel que explica el problema de los calores específicos
 - c) Equipo Geiger Müller
7. Equipo que muestra el experimento que ayudó a determinar experimentalmente el tamaño del átomo
 - a) Equipo movimiento browniano
 - b) Simulación del experimento de Franck-Hertz
 - c) Equipo espectro del hidrógeno

8. Equipo que muestra la cuantización de la energía
 - a) Equipo espectro del hidrógeno
 - b) Equipo experimento Franck-Hertz
 - c) Simulación del experimento de Franck-Hertz
9. Muestra que cada gas tiene un espectro de emisión característico
 - a) Espectro de gases
 - b) Equipo de Geiger Müller
 - c) Equipo espectro del hidrógeno
10. Muestra experimentalmente el comportamiento ondulatorio de los electrones
 - a) Simulación espectrum
 - b) Espectro de gases
 - c) Equipo experimento de difracción de electrones
11. Muestra que el patrón de difracción depende de la forma del objeto
 - a) Experimento de difracción de la luz
 - b) Simulación espectrum
 - c) Equipo experimento de difracción de electrones
12. Muestra algunos de los parámetros importantes que participan para obtener la difracción tanto de electrones como de la fotones
 - a) Simulación de difracción de electrones y fotones
 - b) Juego sobre el principio de exclusión
 - c) Espectrodifractómetro de rayos X
13. Explica el principio de exclusión
 - a) Espectrodifractómetro de rayos X
 - b) Juego sobre el principio de exclusión
 - c) Simulación de difracción de electrones y fotones
14. Equipo de investigación que se usó para determinar la estructura cristalina de materiales
 - a) Simulación de difracción de electrones y fotones
 - b) Espectrodifractómetro de rayos X
 - c) Juego sobre el principio de exclusión
15. Resalta que las dimensiones cuánticas son extremadamente pequeñas
 - a) Equipo cámara de niebla
 - b) Comparación entre un bulbo y un transistor
 - c) Cuánto mides en nanómetros
16. Equipo que muestra dos tipos de amplificadores
 - a) Cuánto mides en nanómetros
 - b) Comparación entre un bulbo y un transistor
 - c) Equipo cuerpo negro
17. Equipo que muestra algunas consecuencias negativas de la física cuántica
 - a) Equipo rayos X
 - b) Equipo cuerpo negro
 - c) Video de Hiroshima

Notas

¹ La educación formal es la que se ofrece dentro de una institución oficial reglamentada; la no formal ocurre fuera de éstas pero, al igual que la primera, posee una metodología y planificación. La modalidad informal es la que ocurre a cada momento en la vida de los individuos, pero con un carácter libre tanto de parte del emisor como del receptor (Aguirre y Vázquez, 2004:5).

² Se refiere al público que acude al museo con un objetivo definido; tal es el caso de muchas visitas escolares (Sánchez-Mora, 2002:58).

³ Denota el carácter libre de la aproximación informal al museo, donde el aprendizaje ocurre de manera personal y de acuerdo con los antecedentes e intenciones del visitante (Falk y Dierking, 2000:101).

⁴ La exposición se llama *Expo Q* para hacer referencia a la expresión latina *quanto*

⁵ La evaluación sumativa es una fase final de evaluación de las exposiciones en los museos, que se realiza una vez abiertas al público. Su intención es remedial, a diferencia de la evaluación inicial y la formativa (Screven, 1993:173).

⁶ Algunos programas de física de bachillerato consideran la enseñanza optativa de la mecánica cuántica o de algunos de sus principios.

⁷ En un principio se trabajó con un grupo de 50 profesores que habían asistido al museo a tomar un curso de enseñanza de la física. No se utilizó una muestra estadística puesto que ése era el cupo máximo de dicho curso. Por otra parte, los maestros que proceden de la carrera de física tienden a ser una minoría.

⁸ Se solicitó a los profesores que visitaran la exposición que, por escrito, entregaran sus comentarios acerca de: la claridad de los equipos exhibidos, la comprensión de las cédulas e instrucciones escritas, la comodidad de la circulación, su percepción del ambiente y la posibilidad de ayudarles a explicar el tema de mecánica cuántica a sus grupos de bachillerato. Se les dio completa libertad de extenderse e, incluso, de opinar sobre otros aspectos de la exposición que les parecieran importantes. Cada profesor entregó, ocho días después de la visita, un promedio de cuatro cuartillas, de cuyos textos se extrajeron las categorías de opiniones más frecuentes, mismas que se muestran en las tablas 2 y 3. Desde un principio se vio que claramente podían dividirse en opiniones positivas y negativas. Este tipo de estudios sobre frecuencias de opiniones son típicos de los estudios de público, donde el contacto con los visitantes es reducido (Valdés, 1999:78-86).

⁹ El método requiere de varios evaluadores expertos en las diferentes áreas involucradas en el diseño, quienes llevan a cabo inspecciones independientes, enfocándose en puntos críticos que han sido reconocidos como fuentes de problemas en estudios previos similares. Estos puntos críticos componen una lista de principios *heurísticos básicos* que el evaluador usa como guía comparativa; aunque, en la práctica, un equipo de evaluadores puede desarrollar heurísticas adicionales específicas del contexto del diseño analizado.

¹⁰ Para un error de 8% en un intervalo de confianza de 95.5%.

Bibliografía

- Aguirre Pérez, C. y A. M. Vázquez Molini (2004). “Consideraciones generales sobre la alfabetización científica en los museos de la ciencia como espacios educativos no formales”, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (España), vol. 3, núm.3, s/p.
- Alemañ, R. A. y J. F. Pérez Selles (2001). “Didáctica de la teoría de la relatividad: un caso práctico”, *Alambique* (Barcelona), año VII, núm. 26, octubre, pp. 101-112.
- Bao, Lei y R.N. Steinberg (1996). *Seeing the invisible: a new quantum tutorial with LED's*, University of Maryland Physics Education Research Group.
- Blanco, R. y M. Niaz (1998). “Baroque tower on a gothic base: A lakatosian reconstruction of students and teachers understanding of structure of the atom”, *Science and Education*, 7, pp. 327-360.

- Budde, M.; H Niedderer; P. Scott, y J. Leach (2002). "Electronium: a quantum atomic teaching model", *Physics Education*, vol.37, núm. 3. pp. 196- 203.
- Cataloglu, E. y R. Robinett (2002). "Testing the development of student conceptual and visualization understanding in quantum mechanics through the undergraduate career", *American Journal of Physics*, vol. 70, núm.3, marzo, pp. 238-251.
- Davallon, J. (1986). "Gestes de mise en exposition", *La mise en exposition*, París: Centre G.Pompidou, CCI, pp. 241-266.
- Falk, J. y L. Dierking (2000). *Learning from museums*, California: Altamira Press.
- Hazidaki, P.; G. Kalkanis y D. Stavrou (2000). "Quantum mechanics: a systemic component of the modern physics paradigm", *Physics Education*, vol. 35, núm.6, noviembre, pp. 386-393.
- Kalkanis, G.; P. Hadzidaki y D. Stavrou (2003). *An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts*, Wiley Periodicals, Learning, pp. 257- 280.
- Lebeau, R.; P. Gyamfi, K. Wizevich y E. Koster (2001). "Supporting and documenting choice in free-choice science learning environments", en Falk (ed.), *Free-Choice Science Education*, Teachers College-Columbia University, pp. 113-150.
- Müller, R. y H. Wiesner (2002). "Teaching quantum mechanics on an introductory level", *American Journal of Physics*, vol. 70, núm. 3, marzo, pp. 200- 209.
- Nielsen, J. (1994). "Heuristic evaluation", en Nielsen y Mack (eds.), *Usability inspection methods*, Nueva York: John Wiley and Sons, Inc., pp.25-61.
- Olsen, R. (2002). "Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Norway", *International Journal of Science Education*, vol. 24, núm. 6, pp. 565-574.
- Pérez, C., et al. (1999). "Centros de ciencia, espacios interactivos para el aprendizaje", Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen zerbitzua.
- Pozo, J. I. y M. A. Gómez-Crespo (1998). *Aprender y enseñar ciencia*, Madrid: Morata.
- Quinn, C.N. (1996). "Pragmatic evaluation: lessons from usability", en Christie, James y Vaughan (eds.) *Proceedings of ASCILITE 96: 13th. Annual Conference of the Australasian Society for Computers en Learning*, Adelaida: Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education, pp. 437-446.
- Redish, E. F. y R. N. Steinberg (1997). *Practical quantum mechanics: Opening a door for tomorrow's engineers, inventors and scientists*, University of Maryland Physics Education Research Group.
- Sánchez-Mora, C. (2002). "El museo de las ciencias como foro educativo", *Perspectivas docentes* (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco), núm. 27, pp. 50-62.
- Schiele, B. (1992). "L'invention simultanée du visiteur et de l'exposition", *Public et Musée* (Lyon), núm. 2, pp.71-97.
- Schiele B. y L. Boucher (1994). "Some processes particular to the scientific exhibition", en Miles y Zavala (eds.), *Towards the museum of the future. New European perspectives*, Londres: Routledge.
- Screven, C. (1993). "Museums and informal education", *Center for Museum Studies Bulletin* (Washington), vol. 1, núm.1, pp. 171-179.

- Shiland, T.W. (1997). "Quantum mechanics and conceptual change in high school chemistry textbooks", *Journal of research in Science Teaching*, 34, pp. 535-545.
- Steinberg, R.; M. Wittmann, L. Bao y E. Redish (1999). *The influence of student understanding of classical physics when learning quantum mechanics* (disponible en [www.phys.ksu.edu/](http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst)perg/papers/narst).
- Taylor, S. (1998). *Comment améliorer des éléments d'exposition avec l'évaluation formative*, Dijon: OCIM.
- Torres Casas, L. (2003). *Quantum mechanics in science museums*, Barcelona: Science Education Department/Universitat Autónoma de Barcelona.
- Tsaparlis, G. (2001). "Towards a meaningful introduction to the Schrödinger equation through historical and heuristical approaches", *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, vol. 2, núm. 3, pp. 203-213.
- Valdés, S. M. C. (1999). *La difusión cultural en el museo*, Madrid: Ediciones TREA.

Artículo recibido: 8 de febrero de 2006
Dictamen: 16 de mayo de 2006
Segunda versión: 30 de mayo de 2006
Aceptado: 28 de junio de 2006