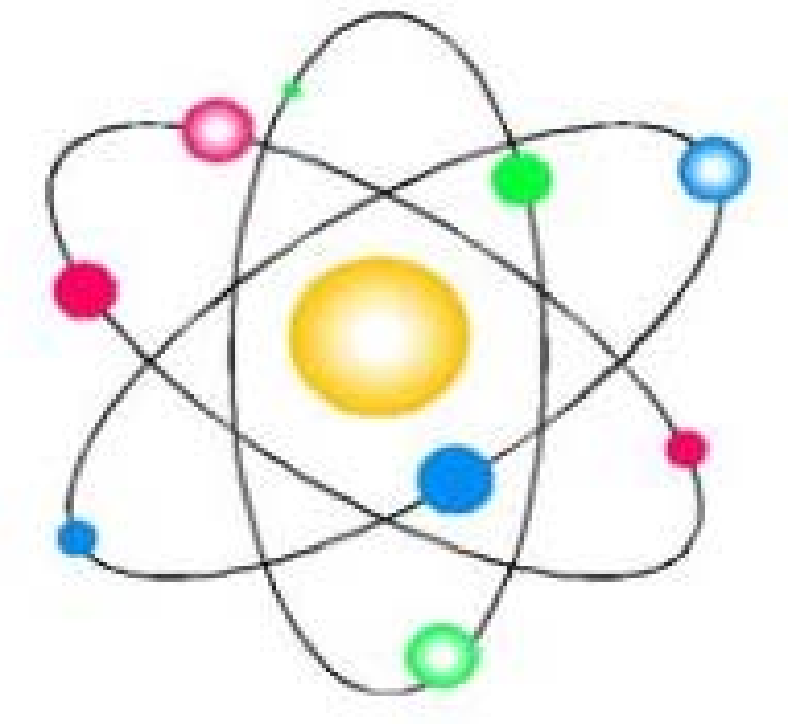
MODELOS ATÓMICOS:
ENSINO CONTEXTUALIZADO?



RAMÓN CID MANZANO

IES de Sar. Santiago de Compostela

GABRIEL DASILVA ALONSO

3º Ciclo USC

ÍNDICE Páxina:

1. Resumo.....3
2. Introdución.....5
2.1 Problemática do ensino dos modelos atómicos na secundaria.....5
2.2 Marco da análise dende as consideracións da Didáctica das ciencias.....8
3. Análise das diferentes propostas editoriais.....10
3.1 Análise bibliográfico….....10
3.2 Metodoloxía seguida.....12
4. Resultados e discusión.....16
5. Conclusións.....19
6. Bibliografía.....21
7. Anexos.....23

1. Resumo

A Estructura da Materia constitúe un dos bloques temáticos fundamentais da asignatura de Física e Química na ESO (Educación Secundaria Obrigatoria) e no Bacharelato[1]. Os modelos atómicos sentan as bases microscópicas para poder entender moitas das propiedades macroscópicas da materia que se explican en ciencias e do comportamento do mundo que nos rodea. En particular, precisámolos para coñecer a estructura electrónica dos átomos, e a partir de ahí os enlaces entre eles, de onde deriva o impresionante desenvolvemento da Química. Tamén se necesitan para explicar as propiedades eléctricas e magnéticas en xeral. Pero é que ademais, ditos modelos proporcionan un bo contexto para potenciar destrezas propias da competencia científica coma o razoamento, predicción, interpretación da realidade, construcción de modelos para explicar observacións, etc (McKagan et al., 2008)[2].

Agora ben, a introducción cualitativa destes conceptos conleva unha gran dificultade xa que presentan como punto de partida unha complexa explicación matemática non acorde ao nivel do alumnado de secundaria. Múltiples estudos mostran que os alumnos aprenden erróneamente conceptos relacionados cos modelos atómicos (Gil et al., 1986)[3], ideas previas, asunción dos modelos clásicos coma realidades absolutas, os orbitais coma estantes físicos, o electrón únicamente coma unha partícula, etc. Incluso estes erros se manteñen unha vez chegan á universidade (Bernabeu et al., 1985)[4].

É por iso que nos propoñemos investigar cal é o estado desta cuestión despois de vinte anos de implantación dun modelo eduacativo que está centrado na idea da aprendizaxe significativa. En ningún momento no currículo, se especifica cal é o modelo máis conveniente a explicar nesta etapa educativa. Só se fai referencia ao uso dos modelos para interpretar as reaccións químicas e ao introducir a natureza eléctrica da materia[5]. De ahí que cada texto presenta un tratamento particular dos modelos atómicos aparecendo diferenzas importantes entre uns e outros como sinalan numerosas investigacións (Carmona, 2002)[6].

O presente traballo é un fragmento do Traballo Fin de Máster (Formación de Profesorado de Secundaria) no que se analizaron libros de texto de diferentes editoriais de secundaria, dende 3º da ESO ata 2º de Bacharelato.

Preséntase aquí un dos obxectivos fundamentais que tiña sido analizar se o tratamento de diferentes deseños editoriais é acorde cos elementos fundamentais que se destacan hoxe en día na Didáctica das ciencias experimentais (competencias en argumentación, uso de probas, problemas auténticos, modelos contextualizados. etc.)

Fíxose unha selección de catro editoriais que se consideran moi implantadas nos centros de ensino e xa que logo, suficientemente representativas: ANAYA, SM, SANTILLANA e EDEBE.

Os resultados obtidos coinciden en xeral co esperado, xa que a maioría das editoriais continúan a presentar os modelos atómicos dun xeito basicamente orientado á súa memorización mecánica, ignorando as aplicacións que se derivan destes modelos para a comprensión doutros conceptos da Física e da Química, introducíndose descontextualizados do seu momento histórico-científico, sen deixar clara a evolución dende uns aos outros e nalgúns casos seguen a manter ideas positivistas referidas ao avance da ciencia. Parécenos que tal situación moi pouco aporta ás diferentes dimensións que conforman o que hoxe se entende por competencia científica.

2 Introdución

2.1 Problemática do ensino dos modelos atómicos na secundaria:

Os modelos atómicos e a estructura da materia é parte fundamental da ciencia, por iso os problemas derivados do seu ensino teñen moito que ver coa ensinanza das ciencias en xeral. Recóllense os tres grandes problemas que ten o modelo de ensino tradicional das ciencias segundo Solbes et al. (1987)[7]:

I. Empirismo: os alumnos chegan aos conceptos a través de datos puros, descontestualizados.

II. Formalismo: demasiada importancia do aparato matemático sen ter en conta a proposición de problemas, emisión de hipótesis, deseño de experimentos, etc. É dicir, olvídase a importancia da indagación como proceso de aprendizaxe.

III. Preséntase o desenrolo científico coma unha mera acumulación de coñecementos, descubrimentos, teorías, sen mostrar a evolución, o porqué de que unhas teorías melloran ou superan a outras (Toulmin, 1977)[8].

Dende o punto de vista do ensino dos modelos atómicos, (Solbes et al., 1987)[7] móstrannos as causas que propician o mantemento de graves erros conceptuais e a súa resistencia a ser desplazados polas ideas científicas correctas:

I. Introducción lineal dos modelos ou incluso misturada. Non se mostran as causas de cambio duns modelos a outros, como evolucionaron.

II. Séguense cometendo grandes erros polo uso de modelos clásicos: tratamento do electrón coma unha partícula, os orbitais coma estantes que existen esperando a ser ocupados, etc.

No traballo de Pozo et al.[9] recóllense os resultados de múltiples investigacións que reflexan como as ideas previas dos alumnos dificultan a comprensión dos conceptos relacionados coa estructura da materia. O primeiro problema de todos é que un elevado porcentaxe do alumnado non comprende a natureza discontinua da materia, segue mantendo as ideas clásicas de que a materia é indivisible. Entre os alumnos que xa

asumen a súa natureza discontinua, o problema radica na comprensión real deste modelo, é dicir, se o alumno aplica o modelo atómico para dar explicación a fenómenos coma por exemplo os cambios de estado. Os resultados dos estudos poñen de manifesto un coñecemento superficial e memorístico con escasa atribución de sentido. Na **Táboa 1** recóllese un resumo comparativo das principais ideas previas dos alumnos respecto das partículas e a visión correcta segundo o modelo atómico. Na **Táboa 2** resúmense as principais ideas previas respecto a conceptos como átomo, molécula, elemento, etc que en gran medida se deben a que todos eles se usan con frecuencia mediante o mesmo termo *partícula*. Trátase do resultado de moitos estudos con alumnos de 12 a 16 anos. ¿Cal é a fonte destas ideas previas erróneas? Pozo et al. suxiren estas tres:

I. Ideas inducidas pola *linguaxe química* (por exemplo, o carácter polisémico do termo partícula: átomo, composto, sustancia pura, mezcla, etc) e *cotiá* (acepcións coma polvo, fume, suciedade).

II. Ideas espontáneas. Refírese a que a idea de partícula é algo abstracto e difícil de percibir polos sentidos, polo que cada un xera na súa cabeza un concepto particular de partícula. Os alumnos vense influenciados pola súa percepción e de ahí a atribución de propiedades animistas, visión macroscópica, asimilación das propiedades coas propiedades do sistema, etc.

III. Ideas analóxicas. Esta causa ten que ver cos modelos que se lle transmiten dende a escola e os libros de texto. Fundamentalmente será o que analizaremos neste traballo.

Capuano et al. (2007)[10] chegan a dúas conclusións, despois de revisar diferentes estudos. Por unha banda, que os alumnos asumen como representación da realidade ao modelo de Bohr, por outro lado, a instrucción recibida non lles permite elaborar o concepto de transitoriedade entre os modelos.

As partículas dende o modelo atómico	Ideas previas dos alumnos
Entre elas hai vacío	Hai aire, gases, polvo, etc
Están en continuo movemento	Non se moven
Conservación do tamaño e forma	Visión macroscópica: non conservan polo tanto nin o tamaño nin a forma. Atribución das mesmas propiedades que o sistema, se este aumenta de volume, as partículas tamén.
Gases: desordenadas, moi separadas, móvense moi rápido. **Líquidos**: máis ordenadas e xuntas, menos velocidade. **Sólidos**: moi ordenadas e próximas, vibran	Alteracións na orde e proximidade
Pesan	Non pesan
Nunha reacción, as partículas interaccionan	Atribución de características animistas, de seres vivos: as partículas peléanse, cómense,etc

Táboa 1: *Ideas previas dos alumnos e visión dende o modelo atómico respecto ás partículas en xeral.*

Conceptos	Ideas previas dos alumnos
Átomo	-Asocian átomo a elemento -Atribúenlle propiedades macroscópicas -O modelo que persiste como real é fundamentalmente o de Bohr
Molécula	-Asocian molécula a composto -Non distinguen átomos de moléculas -Atribúenlle propiedades macroscópicas -Non se refiren a átomos e moléculas para distinguir entre elementos compostos e misturas
Sustancia pura	-Identifícana con elemento -Atribúenlle o significado cotiá relacionado coa calidade (consideran ao aire, o leite coma sustancias puras)
Elemento	-Identifícano co estado sólido da materia -Confusión entre elemento e composto -Non consideran ás sustancias diatómicas coma elementos -Asocian átomo a elemento -Identifican elemento con sustancias prototípicas coma a sal ou a auga
Composto	-Asocian molécula a composto -Non consideran que os compostos teñen unha composición fixa -Consideran equivalentes os conceptos de mistura e composto -Confusión con elemento

Táboa 2: *Ideas previas dos alumnos sobre os conceptos de átomo, molécula, sustancia pura, elemento e composto*

2.2 Marco da análise dende as consideracións da Didáctica das Ciencias.

Logo desta revisión bibliográfica acerca dos principais problemas relacionados coa aprendizaxe dos modelos atómicos, tanto dende o punto de vista do profesor e o sistema educativo *(¿como se ensinan?)* así coma dende a perspectiva do alumno *(ideas previas),* resúmense as principais coordenadas pedagóxicas e didácticas en base ás que se fixo a análise crítica dos libros de texto.

A ***filosofía positivista*** tivo moita influencia na elaboración do currículo das ciencias, especialmente para a ensinanza da Química (Gallagher, 1991)[11], (McComas et al., 1998)[12]. Sen embargo, a mediados do século XX a influencia do positivismo na ensinanza comenzou a ser cuestionada ante as emerxentes ideas de Hanson (1958), Kuhn (1970), Lakatos (1970), Popper (1959) ou Toulmin (1961). Unha das grandes críticas ao positivismo é que supón a existencia do coñecemento independentemente de que exista un suxeito cognoscente, é dicir, supón que os científicos descubren as leis, teorías e principios xa existentes a través das súas investigacións obxectivas (Niaz, 1994)[16].

Para a nova filosofía da ciencia, o que o científico observa e investiga é unha reconstrucción da realidade dacordo coa súa formación, marco teórico e valores sociais (Glasersfeld, 1989)[13], (Piaget et al., 1989)[14]. É dicir, na construcción do coñecemento científico, as observacións dependen, en gran medida da formación, experiencias e expectativas do observador, polo tanto, as mesmas non poden ser tan obxectivas como defenden os positivistas.

Múltiples estudos mostran que a maioría dos textos de Química presentan unha interpretación positivista/inductivista da evolución das teorías científicas e dos modelos atómicos (Chiapetta et al, 1993)[15], (Milne, 1998)[16], (Niaz, 1998, 2000, 2001)[17][18][19]. Esta interpretación contradí os eventos históricos, tal como sucederon. A ciencia non se desenrola de xeito rectilíneo (acumulación de coñecemento, comprobado polos datos experimentais), senon a través da competencia entre moitos puntos de vista conflictivos.

O feito de que nos libros de texto se obvie esta visión da evolución da ciencia fai que moitas veces o docente asuma como válida a mera acumulación de coñecementos e así o transmite aos alumnos, privándolles da oportunidade de familiarizarse co progreso e práctica científica (Níaz, 1998)[17].

Tradicionalmente considerouse aos alumnos como *"tabulas rasas"*, é dicir, mentes en branco onde o profesor escribe os conceptos, sen ter en conta os seus coñecementos previos, capacidades, etc. Dende unha perspectiva constructivista, é o alumno o que aprende dun xeito autónomo. Neste proceso o profesor só lle aporta as ferramentas, axuda e orientación necesarias para que el constrúa o seu propio coñecemento en función das súas concepcións previas e o seu nivel de desenrolo cognitivo. Os modelos atómicos, son moi útiles para poder comprender os átomos dende un punto de vista microscópico, pero non só esto senón que son ferramentas para poder explicar as propiedades da materia. Trátase polo tanto dun coñecemento aplicado a outros campos da química. É fundamental que os alumnos expliquen fenómenos coma a transmsión eléctrica, emisión de luz, a cor, etc en base aos modelos atómicos para que se produza unha verdadeira aprendizaxe significativa dos mesmos.

Dacordo coa LOE e seguindo as liñas europeas de ensinanza, a aprendizaxe está dividida en diferentes competencias básicas coa finalidade de potencialas. Trátase de que o alumno desenrole unha serie de capacidades ao longo de todo o proceso de ensinanza secundaria que lle permitan formarse como persoa e cidadán dun xeito integral. Dentro destas competencias está a científica, orientada a que o alumno sexa capaz de identificar problemas científicos e resolvelos, mediante o uso de probas e a argumentación, dun xeito científico. Polo tanto, e tendo en conta estas consideracións, os modelos atómicos no ensino das ciencias, ademáis de facilitar a comprensión de moitos conceptos de física e química tamén axudan a desenrolar destrezas coma o razoamento, o uso de representacións para explicar realidades abstractas, o pensamento formal, a indagación como estratexia de aprendizaxe, etc.

3. Análise de diferentes propostas editoriais

3.1 Análise bibliográfico

Trátase dun tema amplamente estudiado, dende o prisma das ideas previas dos alumnos, propostas didácticas, problemáticas de aprendizaxe, introducción nos libros de texto, etc. A continuación preséntanse brevemente as conclusións dalgúns traballos similares, onde se analizan diferentes editoriais co fin de estudar o tratamento que se fai dos modelos atómicos a nivel da secundaria.

Solbes et al. (1987)[7], partindo da evidencia de que os alumnos presentan moitos erros conceptuais respecto aos modelos atómicos, pregúntanse a seguinte cuestión: *¿Ata que punto os modelos cuánticos do átomo son introducidos correctamente nos diversos niveis de ensino?* Levaron a cabo unha análise de 56 libros, pertencentes aos antigos niveis de EXB, BUP e COU. Para o que elaboraron un cuestionario con 15 ítems que aplicaban a cada libro, ver **Anexo 1**. Ainda que un certo número dos libros analizados presentan globalmente as ideas cuánticas do átomo dun modo satisfactorio, todavía subsisten demasiados erros conceptuais nos textos. Téndese a realizar unha introducción desestructurada e confusa dos conceptos cuánticos, misturándoa con conceptos clásicos que se presuponen coñecidos polos alumnos. Utilízanse modelos clásicos para explicar fenómenos que precisan da cuántica dada a súa sinxeleza conceptual. O problema radica en que se presentan coma a explicación real e correcta, ignorando que todo modelo ten as súas limitacións e non se incide en que se trata dunha ferramenta que sinxelamente nos axuda a interpretar a realidade.

O estudio de Paez et al. (2004)[20] estivo encamiñado a ver en que grao a imaxe que presentan os textos de bacharelato da evolución dos modelos atómicos concorda co enfoque actual da historia e filosofía da ciencia. Analizáronse 27 libros de Química de bacharelato aplicando una serie de criterios recollidos no **Anexo 2**. En liñas xerais, os textos manteñen un enfoque positivista da evolución do coñecemento científico sobre os modelos atómicos. É dicir, con poucas excepcións, os autores resaltan os feitos experimentais e o uso do método científico como única vía para elaborar coñecemento

científico válido, xerando unha visión da ciencia como un proceso acumulativo. Unha evidencia é a abundancia de debuxos esquemáticos de experimentos, gráficas e fórmulas matemáticas que ilustran os textos. Os textos presentan a evolución dos modelos atómicos, a partir dos datos experimentais puros (inductivismo), obviando, dacordo coa historia da ciencia, os principios heurísticos e a competencia entre programas rivais que impulsaron a postulación destes modelos.

Carmona (2002)[6] analizou dez textos da ESO no referente aos modelos atómicos. Conclúe que a maioría ofrecen unha visión clásica sin indicar as súas limitacións. Defende que non é factible unha maior profundización dado o nivel cognitivo desta etapa pero si é convinte, dende un punto de vista didáctico, facer unha breve alusión cualitativa aos modelos posteriores de Bohr e Schrödinger. Deste modo obtense unha visión global da evolución da ciencia e rómpese coa idea de que a física clásica é unha ciencia acabada.

Como sinalan Benarroch et al. (2008)[21] no seu estudio acerca de que imaxes se usan nos libros de texto para representar o enlace químico e a relación coa estructura da materia, existe unha gran variedade, non hai unha tendencia común. A liña xeral que establecen é que na ESO se usan máis os modelos de bólas, e os modelos de Lewis con raias e electróns para o bacharelato. É dicir, entre 12-15 anos o obxectivo parece ser mostrar o concepto de sustancia química mediante modelos que traten de simular a realidade mentres que nun nivel maior, os modelos esixen a comprensión da configuración electrónica dos átomos, son máis complexos e formais. No **Anexo 3** pódense ver os distintos tipos de representacións moleculares que buscaron na súa análise.

3.2 Metodoloxía seguida

Fíxose unha selección de catro editoriais que están moi implantadas nos centros de ensino e polo tanto considéranse suficientemente representativas: ANAYA, SM, SANTILLANA e EDEBE:

Santillana 3º ESO: Proxecto "A casa do saber". ISBN: 978-84-8224-605-5. (2007)

Santillana 4º ESO: Proxecto "A casa do saber". ISBN: 978-84-294-0984-0. (2008)

Santillana 1º BAC: Proxecto "A casa do saber". Depósito legal: M-23550-2008. (2008)

Santillana 2º BAC: Proxecto "A casa do saber". ISBN: 978-84-294-0993-2. (2009)

Anaya 3º ESO: ISBN: 84-667-1126-0. (2002)

Anaya 4º ESO: ISBN: 978-84-667-7205-1. (2008)

Anaya 1º BAC: ISBN: 84-667-1207-0. (2002)

Anaya 2º BAC: ISBN: 84-667-2181-9. (2003)

Edebé-Rodeira 3º ESO: ISBN: 978-84-236-9729-8. (2010)

Edebé-Rodeira 4º ESO: ISBN: 978-84-236-8753-4. (2010)

Edebé-Rodeira 1º BAC: ISBN: 978-84-8349-193-5. (2008)

Edebé-Rodeira 2º BAC: ISBN: 978-84-236-9282-8. (2010)

S-M 3º ESO: ISBN: 978-84-675-1654-8. (2007)

S-M 4º ESO: ISBN: 978-84-081-9854-9. (2008)

S-M 1º BAC: ISBN: 978-84-049-9854-9. (2008)

S-M 2º BAC: ISBN: 978-84-675-3469-6. (2009)

Utilizáronse varios criterios de análise, sendo os relativos á capacidade explicativa dos modelos os seguintes 14 ítems:

1. **Thomson 1:** Faise unha suficiente correlación entre o descubrimento do electrón e o medelo?
2. **Thomson 2:** Faise referencia á colocación dos electróns no seu modelo do*"pudín de pasas"*?

O modelo do "*pudín de pasas*" consiste básicamente en que toda a carga positiva e negativa dos átomos está dispersa no seu volume, pero Thomson xa defendía que os electróns estaban colocados dun xeito determinado para obter a mínima repulsión posible. Por exemplo, nun átomo con dous electróns estarían equidistantes un do outro; con tres, formando un triángulo; con catro, etc. Esta idea de que non poden estar en calquera lugar e sen relación uns cos outros, é un pouco a idea base dos orbitais. Polo tanto o que temos que mirar é se nos libros falan desto e se o aprobeitan dalgún xeito para que o alumno se vaia facendo con esta idea, comece a falar de xeometría, e sirva como introducción ao posterior concepto de orbital.

3. **Thomson 3:** Relaciónase o modelo coas propiedades da materia: electricidade, emisión-absorción de luz, enlace químico, etc?

Por exemplo, trátase dun modelo moi gráfico para explicar o paso de corrente eléctrica por un conductor. O material é representado por unha fracción de átomos iguais (do mesmo elemento), ver **Figura 1**. O paso dos electróns dun "pudín" a outro é algo que poden representar e ver gráficamente. O mesmo ocorre coa emisión fotoeléctrica cando reciben luz despréndese un electrón; ou a emisión ou absorción de luz polos átomos ao través da interacción desa luz cos electróns. O que non explica o modelo é porqué esas cantidades de enerxía son concretas e propias de cada átomo (os espectros atómicos).

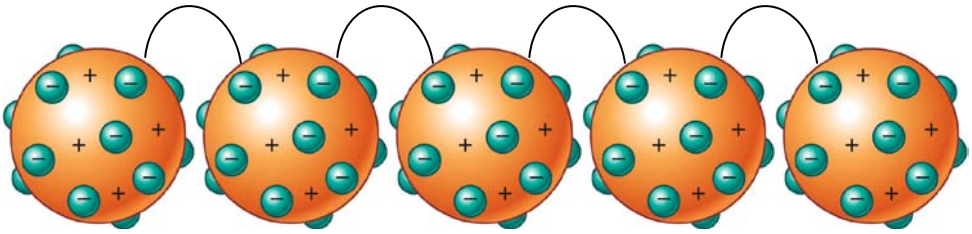


Figura 1: *Esquema explicativo da electricidade mediante o modelo de Thomson*

4. **Rutherford 1:** Vincúlase o modelo cos experimentos de raios alfa?

5. **Rutherford 2:** Queda claro que o modelo de núcleo que propón Rutherford non contempla a presencia de neutróns?

Os neutróns descubríronse uns vinte anos despois. Rutherford defende que a carga positiva está toda concentrada no núcleo, polo tanto, o átomo de He que ten masa 4 e carga positiva 2, tiña no núcleo 4 partículas de carga positiva e dous electróns para compensar. Ademáis, explicaba que eses dous electróns eran os responsables da

radiación beta. O que non explicaba Rutherford era que había dous protóns no núcleo e dous neutróns para que a masa fose catro.

6. **Rutherford 3:** Relaciónase o modelo coas propiedades da materia: electricidade, emisión-absorción de luz, etc?

7. **Bohr 1:** Explícase a principal diferencia co modelo de Rutherford?

O debuxo do modelo é o mesmo, electróns que xiran ao redor dun núcleo positivo, pero a principal diferencia é que os electróns de Bohr están nuns estantes determinados de enerxía, xiran nunhas órbitas concretas, polo tanto absorben ou emiten unha cantidade de enerxía determinada para subir ou baixar de nivel.

8. **Bohr 2:** Relaciónase coas propiedades da materia: electricidade, emisión-absorción de luz en cantidades de enerxía determinadas, conductividade térmica, etc?

Por exemplo, ¿utiliza o modelo para explicar porqué os obxectos emiten os mesmos tipos de luz? É a gran diferencia en canto a propiedades que se poden explicar respecto aos dous anteriores. Bohr explica que se absorba ou emita luz nuns cuantos determinados mentres que os outros dous só serven para ver que se emite ou absorbe simplemente, sen máis.

9. **Bohr 3:** Parte da interacción luz-materia como arranque do seu modelo para xustificar que os electróns xiran en órbitas determinadas?

10. **Modelo Cuántico 1:** Para entender porqué pasamos das órbitas de Bohr (coma estantes que existen físicamente) a rexións no espacio (concepto máis abstracto) onde existe a posibilidade de atopar os electróns, profundízase no feito de que non se pode medir onde está o electrón exactamente e en que momento xa que para medir esto temos que interactuar con el e intervimos inevitablemente sobre o electrón? É dicir, preséntase o principio de incertidume de Heisemberg.dun xeito meramente filosófico ou utilízase para entender o concepto de orbital.?

11. **Modelo Cuántico 2:** Úsase o modelo para entender o concepto de valencia? É dicir, unha vez explicada a distribución dos electróns en orbitais segundo os niveis de enerxía, aprovéitase isto para explicar eses números misteriosos chamados valencias que moitas veces se memorizan sen máis?

12. **Modelo Cuántico 3:** Relaciónase o modelo coas propiedades da materia: electricidade, emisión-absorción de luz en cantidades de enerxía determinadas, xeometría molecular, etc?

A xeometría das moléculas explica propiedades coma o momento dipolar. Este modelo de orbitais da lugar a falar de hibridación e polo tanto de ángulos de enlace e xeometría. Incluso xa co modelo de Thomson se pode introducir a idea de xeometría e colocación dos electróns. A xeometría permite entender os enlaces, a triple hibridación do carbono segundo o grao de saturación, formación de complexos, etc.

13. **Xeral 1:** Co obxectivo de analizar se se presentan os modelos coma unha mera acumulación de coñecemento ou se se usan realmente para ofrecer unha visión xeral de como a ciencia avanza. Explícase dun xeito claro como e porqué uns modelos van sustituíndo aos outros?

14. **Xeral 2:** Dase unha visión positivista dos modelos? é dicir, os científicos tiñan previamente a idea de modelo e de ahí a realización de experimentos para demostralos?

4. Resultados e discusión

Os resultados comparativos das catro editoriais aparecen resumidos na **Táboa 3**. A continuación preséntanse, a modo de exemplo, algúns fragmentos do estudo detallado feito para cada libro.

3ºESO Santillana: Cito textualmente: *Despois de demostrar que o átomo non era indivisible (como supoñía Dalton), os científicos deseñaron modelos atómicos para describir como eran polo tanto esos átomos que tiñan protóns, neutróns e electróns.* Introduce os modelos atómicos dende unha perspectiva totalmente positivista. Parte da base de que o coñecemento das partículas subatómicas xa existía, os científicos deseñaron experimentos para demostrar eses modelos que previamente coñecían.

1ºBAC Santillana: Ante o problema de que a masa do protón non se corresponde coa do núcleo, inclúe dentro do modelo de Rutherford o termo de neutrón para xustificalo: *Co modelo de Rutherford podemos comprender que o Osíxeno teña unha masa de 16 unidades (8 protóns + 8 neutróns).* O que en realidade defendía Rutherford era que só había protóns no núcleo de cada átomo e que a carga se compensaba mediante electróns que estaban nese núcleo. Fai un estudio teórico do modelo, non o aplica a xustificar propiedades da materia, sinxelamente o utiliza para contar protóns, neutróns e electróns nos diferentes átomos.

Respecto ao modelo cuántico segue na liña memorística do curso anterior, aporta unha serie de regras matemáticas para encher os orbitais, os diferentes tipos, niveis de enerxía, etc. Aporta demasiados datos históricos que distraen e dilúen o importante. Fai alusión aos principios de de Broglie e Heisemberg coma orixe do modelo de Schrödinger, dun xeito meramente teórico sen incidir o suficiente nos aspectos cualitativos que permiten comprender o concepto de orbital. A única aplicación que fai deste modelo, seguindo coa liña marcada, é a de comprender o concepto de valencia e aplicalo despois a xustificar as propiedades periódicas dos átomos e á formación dos distintos tipos de enlaces en temas posteriores. Non o usa como ferramenta para xustificar outros aspectos da física e da química coma a xeometría, a cor dos obxectos, explicar a corrente eléctrica, transmisión da calor etc.

2º BAC Anaya: Trata o tema dun xeito moi extenso en detalles históricos de escasa importancia para a comprensión cualitativa dos conceptos. Pon de manifesto o método científico mediante o seguimento da evolución dos diferentes modelos. Adica demasiado tempo ao modelo atómico de Dalton, dende un punto de vista teórico e de xustificación de leis de escasa ou nula aplicabilidade a realidades macroscópicas. Non segue unha orde conceptualmente lóxica nun afán de aportar datos históricos. Esto dificulta a clarificación de conceptos e a síntese do verdadeiramete importante.

3º ESO Edebé-Rodeira: Retoma as ideas dos modelos clásicos de núcleo e corteza para falar de orbitais e núcleo no modelo cuántico. Define os neutróns dentro do núcleo, e non antes co modelo de Rutherford. Aplica esto aos cálculos numéricos de número atómico e número másico. A partir de aquí comeza cun tratamento excesivo no referido á corteza dos átomos. Define os orbitais pola súa forma, orientación e nivel de enerxía. Non insiste no concepto de nube de probabilidade, máis ben trata aos orbitais coma estantes onde colocar os electróns, pero en vez de falar de niveis de enerxía (Bohr), chámalle a estos niveis por un nome (1s, 2s, 2p, etc). Non é coherente respecto ao nivel cognitivo dos alumnos, xa que non poden comprender todavía o concepto de orbital. Introduce estos conceptos abstractos difíciles de asimilar tratando ao modelo coma unha caixa negra, o que leva á súa memorización. Utiliza este modelo para explicar as regras matemáticas de enchido dos orbitais, ordenación dos elementos no SP, regra do octeto para xustificar a reactividade dos diferentes elementos, formación dos diferentes tipos de enlaces, pero non xustifica en base ao modelo as propiedades deses compostos iónicos, metálicos ou covalentes.

3º ESO S-M: Fala dos modelos coma episodios anecdóticos dentro da historia da ciencia e totalmente descontextualizados. Presenta dun xeito puntual, os modelos de Thomson e Rutherford, coma unha curiosidade histórica e despois adícase a falar da estructura da materia sen ter en conta os modelos. Non os relaciona nin especifica as diferenzas entre eles, nin de onde sairon ditos modelos, os experimentos previos ou contexto científico.

Editorial	Curso	T1	T2	T3	R1	R2	R3	B1	B2	B3	C1	C2	C3*	X1	X2
Santillana	3ºESO	Si	Non	Non	Si	Non	Non	Si	Non	Non	Non	Non	Non	Escaso	Si
	4ºESO	Si	Non	Non	Si	Non	Non	Si	Non	Non	Non	Si	Escaso	Non	Si
	1ºBAC	Si	Non	Escaso	Si	Non	Non	Non	Escaso	Si	Escaso	Si	Escaso	Si	Non
	2ºBAC	Si	Non	Non	Si	Non	Non	Non	Non	Si	Si	Non	Escaso	Si	Non
Anaya	3ºESO	Non	Non	Non	Si	Non	Non	…..	…..	…..	…..	…..	…..	Si	Non
	4ºESO	Si	Non	Non	Si	Non	Non	Si	Si	Non	…..	…..	…..	Si	Non
	1ºBAC	Si	Non	Non	Si	Si	Non	Si	Non	Si	Si	Si	Escaso	Si	Non
	2ºBAC	Si	Non	Non	Non	Non	Non	Si	Non	Non	Si	Si	Escaso	Si	Non
Edebé	3ºESO	Si	Non	Escaso	Non	Si	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Escaso	Non	Non
	4ºESO	Si	Non	Non	Si	Si	Non	Si	Non	Non	Non	Si	Escaso	Si	Non
	1ºBAC	Si	Non	Non	Si	Non	Non	Si	Escaso	Si	Non	Si	Escaso	Si	Non
	2ºBAC	Si	Non	Non	Si	Non	Non	Si	Non	Non	Si	Si	Si	Si	Non
S-M	3ºESO	Si	Non	Non	Si	Non	Non	Non	Non	Non	…..	…..	…..	Non	Si
	4ºESO	…..	…..	…..	Si	Non	Non	Non	Si	Si	…..	…..	…..	Non	Si
	1ºBAC	Si	Non	Non	Si	Si	Non	Si	Escaso	Si	Non	Non	Non	Si	Non
	2ºBAC	Si	Non	Non	Si	Si	Non	Si	Escaso	Si	Escaso	Non	Escaso	Escaso	Non

Táboa 3: *Valoración, para cada curso e editorial, dos diferentes modelos por separado, seguindo os 14 ítems.*

*A consideración dun tratamento escaso no ítem C3 débese a que en xeral aplícase o modelo atómico cuántico á xustificación da configuración electrónica e de ahí se aplica ás propiedades periódicas dos átomos, enlaces, etc. Pero non se usa para xustificar directamente a electricidade, a cor, a estructura das moléculas, etc

5. Conclusións

A continuación enuméranse as principais conclusións que se extraen da análise e estudio comparativo entre as diferentes editoriais neste tema.

- En relación ao **Modelo Cuántico**, obsérvase como o seu tratamento nos cursos da ESO é excesivo nalgúns casos por abordar conceptos que requiren dun nivel cognitivo maior (concepto de orbital, nivel enerxético, cuantización da enerxía, etc), ou inexistente en dúas das editoriais estudadas, privando ao alumno da visión de conxunto de como evolucionaron os modelos e a ciencia. No bacharelato é o modelo de referencia a ensinar, pero cunha perspectiva restrinxida a conceptos teóricos e de base matemática e memorística, non se utiliza o modelo máis que para transcribir configuracións electrónicas e de ahí abordar o sistema periódico e os tipos de enlaces. O nivel conceptual é en xeral moi teórico e pouco explicativo.

- Referente ao **Modelo de Bohr**, igual que no caso anterior detéctase unha falta de aplicación do modelo á xustificación de diferentes propiedades da materia, aínda que atopamos casos onde se parte da interacción luz-materia para explicar o modelo e se utiliza posteriormente para xustificar os espectros, o efecto fotoeléctrico, etc. A diferenza do modelo cuántico, este abórdase en moitos casos dende unha perspectiva máis cualitativa e menos memorística sobre todo no primeiro curso do bacharelato onde se utiliza para comprender as bases cuánticas que darán lugar ao modelo de Schrödinger.

- En xeral, os **Modelos de Thomson e Rutherford** son abordados dun xeito teórico e prácticamente igual ao longo dos catro cursos.O seu tratamento é insuficiente, reducido aos experimentos que deron lugar aos modelos (raios catódicos-electrón, experimento cos raios alfa).

- Dende un punto de vista da Didáctica das Ciencias, en xeral os libros de texto analizados rompen coas ideas positivistas de evolución da ciencia, é dicir, os científicos non tiñan a idea do modelo previamente aos seus experimentos senón

que os modelos foron creados posteriormente, para explicar as evidencias experimentais.

- Non obstante, dende un punto de vista histórico de avance da ciencia, preséntanse os descubrimentos dun xeito descontextualizado, sen deixar clara a liña de evolución duns modelos aos outros.

- En xeral, os libros reproducen estratexias memorísticas de ensino, presentan os modelos coma anécdotas históricas da Química e non profundizan nas realidades que pretenden explicar, é dicir, non se usan os modelos coma esas ferramentas que son para entender e explicar a realidade.

- Dificilmente, coa orientación que os libros de texto mostran en relación ao ensino dos modelos atómicos, pódese asumir un achegamento a estes contidos baseado no uso de probas, argumentación, etc. Por tanto, sen unha implicación directa do profesor ou profesora, vese moi comprometida a posibilidade de que os alumnos e alumnas acaden unha auténtica aprendizaxe significativa.

6. Bibliografía

[1] R.D. 1631/2006 do 29 de decembro, M.E.C. (Ministerio de Educación e Ciencia).
Decreto 133/2007, do 5 de xullo, polo que se regulan as ensinanzas da educación secundaria obrigatoria na C. A. de Galicia. *(DOG do 13 de xullo de 2007).*
Decreto 126/2008, do 19 de xuño, polo que se establece a ordenación e o currículo de bacharelato na Comunidade Autónoma de Galicia. *(DOG do 23 de xuño de 2008)*

[2] S.B. McKagan, K.K. Perkins, C.E. Wieman, *Why we should teach the Bohr model and how to teach it effectively,* Physics Education Research, 4-010103, 2008.

[3] D. Gil, F. Senent, J. Solbes, *Análisis crítico de la introducción de la Física moderna,* Revista de Enseñanza de la Física, 1986.

[4] J. Bernabeu, J. Navarro, J. Solbes, V. Vento, *Memoria del proyecto de Implantación de enseñanzas prácticas de Física moderna,* Documento de trabajo, 1985.

[5] Decreto 133/2007 do 5 de xullo, DOGA (Diario Oficial de Galicia).

[6] A.G. Carmona, *Los modelos atómicos en la Física y Química de la Educación Secundaria Obligatoria,* Revista Española de Física, 16 (4), 2002.

[7] J. Solbes, M. Calatayud, J. Climent, J. Navarro, *Errores conceptuales en los modelos atómicos,* Enseñanza de las Ciencias, 5 (3), 1987, 189-195.

[8] S. Toulmin, *La comprensión humana 1: el uso colectivo y la evolución de los conceptos,* Alianza: Madrid, 1977.

[9] J.I. Pozo, M.A. Gómez, M. Limon e A. Sanz, *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia,* 4, 118-164.

[10] V. Capuano, G. Dima, I.L. Botta, B. Follari, A. de la Fuente, *Una experiencia de aula para la enseñanza del concepto de modelo atómico en 8º EGB,* Revista Iberoamericana de Educación, 44 (2), 2007.

[11] J.J. Gallagher, *Prospective and practicing secondary school science teacher's knowledge and beliefs about the philosophy of science,* Science and Education, 75, 1991,121-133.

[12] W.F. McComas, H. Almazroa, M.P. Clough, *The Nature of Science in Science Education: an introduction,* Science and Education, 7, 1998, 511-532.

[13] E.Glaserfeld, *Cognition, construction of knowledge, and teaching,* Synthese, 80, 1989, 121-140.

[14] J. Piaget, R. García, *Psychogenesis and the history of science,* Columbia University Press, 1989.

[15] E.L. Chiapetta, G.H. Sethna, D.A. Fillman, *Do middle school life science textbooks provide a balance of scientific literacy themes?,* Journal of Research in Science Teaching, 30, 1993, 787-797.

[16] C. Milne, *Philosophically correct science stories? Examining the implications of heroic science stories for school science,* Journal of Research in Science Teaching, 35, 1998, 175-187.

[17] M. Niaz, *From cathode rays to alpha particles to quantum of action: A rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks,* Science Education, 82, 1998, 527-552.

[18] M. Niaz, *A rational reconstruction of the kinetic molecular theory of gases based on history and philosophy of science and its implications for chemistry textbooks,* Instructional Science, 28, 2000, 23-50.

[19] M. Niaz, *How important are the laws of definite and multiple proportions in chemistry and teaching chemistry?,* Science and Education, 10, 2001, 243-266.

[20] Y. Paez, A.M. Rodríguez, M. Níaz, *Los modelos atómicos desde la perspectiva de la historia y filosofía de la ciencia: un análisis de la imagen reflejada por los textos de química de bachillerato,* Investigación y Postgrado, 19 (1), 2004, 51-77.

[21] A. Benarroch, L. Matus, F.J. Perales, R. Nappa, *¿Hay criterios unánimes en los modelos moleculares químicos que se enseñan en las distintas etapas de la educación secundaria?,* Congreso Almería, 2008.

Anexo 1: *Cuestionario para a análise de libros de texto de Solbes et al. (1987)*[7]

Cuadro 1. Cuestionario para el análisis de los textos

1. Cómo introduce el efecto fotoeléctrico, los espectros atómicos, etc.
   a) No los trata.
   b) Los trata sin mostrar su ruptura con la FC.
   c) Los trata como problemas que no pudieron ser explicados por la FC y originaron su crisis, dando lugar a la FQ.
   d) Otros

2. A qué modelo llega en la introducción del concepto de átomo:
   Dalton-Thomson-Rutherford-Bohr-Sommerfeld-Schrödinger

3. Se diferencia claramente que los modelos de:
   — Thomson y Rutherford son clásicos.
   — Bohr y Sommerfeld son precuánticos.
   — Schrödinger es cuántico.

4. ¿Se justifica la necesidad de introducir el modelo cuántico?
   a) No se justifica.
   b) Sí, pero no se puede hablar de órbitas.
   c) Sí, porque hay una serie de conceptos posteriores a los modelos de órbitas que plantean una nueva visión del átomo.

5. ¿Qué imagen se da del electrón?
   a) Se interpreta como una partícula.
   b) Se interpreta como una onda.
   c) Se interpreta como una partícula a caballo sobre una onda.
   d) Habla de dualidad onda-corpúsculo
   e) Se interpreta como un objeto de tipo nuevo que exige una nueva descripción.
   f) Otros.

6. ¿Cómo se introducen los niveles de energía?
   a) Como capas electrónicas (regiones del espacio).
   b) A partir de los espectros atómicos.
   c) A partir del modelo de Bohr.
   d) Como solución de la ecuación de Schrödinger.
   e) A partir de la experiencia de Franck-Hertz.
   f) Otros.

7. ¿Cómo se introducen los números cuánticos n,l,m?
   a) Como medio de identificar los niveles de energía.
   b) Mediante el modelo de Sommerfeld.
   c) En las soluciones de la ecuación de Schrödinger.
   d) Otros.

8. Significado de los números cuánticos.
   n a) Determina la energía del electrón.
     b) Determina el tamaño de los orbitales.
     c) Determina el tamaño de las órbitas.
   l a) Determina L.
     b) Determina la forma de la órbita.
     c) Determina la forma del orbital.
     d) Determina el número de subniveles dentro de un nivel.
   m a) Determina Lz.
     b) Determina la orientación de la órbita.
     c) Determina el desdoblamiento de los niveles bajo un campo magnético.
     d) Determina la orientación del orbital respecto a una dirección dada.

9. ¿Cómo introduce el concepto de orbital?
   a) Es la función de ondas o de estado.
   b) Es ψ^2, es decir, la región del espacio en la que hay cierta probabilidad de encontrar al electrón.
   c) Otros.

10. Hablando de los orbitales da a entender que:
   a) Los orbitales están asociados a propiedades de los electrones y no tienen existencia independiente.
   b) Los orbitales existen independientemente de los electrones, y pueden o no ser ocupados por éstos.
   c) Otros.

11. ¿Cómo se introduce la interpretación probabilística?
   a) ψ^2 es la densidad de probabilidad electrónica y ^{2}es la densidad de probabilidad electrónica y ψ ^{2}2 dV es la probabilidad de encontrar al elec trón en un elemento de volumen dV.
   b) ψ^2 es la densidad de carga (el electrón se distribuye).
   c) Es la probabilidad de encontrar al electrón en un punto (nubes de carga, fotografías, etc).
   d) Otros.

12. ¿Qué representación se da del orbital?
   a) Se representa ψ (el orbital) mediante R(r) y Y(,∅).
   b) Se presenta ψ^2 (sin decir que se trata del orbital), mediante cualquiera de las múltiples posibles opciones:
      — diagrama de puntos.
      — contornos de densidad de probabilidad constante.
      — superficies límites.
      — parte radial y parte angular al cuadrado.
   c) Se presenta ψ^2 afirmando que se trata del orbital.
   d) Se confunde la representación del cuadrado de la parte angular con las superficies límites.
   e) Utiliza los diagramas de puntos (el número de puntos es proporcional a la densidad de probabilidad).
   f) Otros.

13. ¿Cómo introduce el espín?
   a) Relacionado con la rotación del electrón (imagen clásica).
   b) Como un complicado movimiento espiral oscilatorio.
   c) Como un momento angular intrínseco.
   d) Como un nuevo número cuántico para explicar la experiencia configuraciones electrónicas, efecto Stern-Gerlach...).
   e) Otros.

14. Cuando habla del cuarto número cuántico dice que es:
   a) Es espín S.
   b) La tercera componente Ms del espín.
   c) El espín S con signo + y —.

15. ¿Cómo explica la estructura electrónica de los átomos polielectrónicos?
   a) Postula la ordenación de orbitales, que después se ocupan.
   b) A partir de los espectros.
   c) A partir de las energías de ionización.
   d) Otros.

Anexo 2: *Criterios para a análise de textos de bacharelato de Paez et al. (2004)*[20]

Thomson 1 (T_1): los rayos catódicos son partículas cargadas u ondas en el éter. El texto debe explicar que los experimentos de Thomson tenían como finalidad resolver la controversia relacionada con la naturaleza de los rayos catódicos, pues son partículas cargadas (átomos, iones, moléculas) u ondas en el éter. Este criterio permite visualizar la investigación científica como la competencia entre programas rivales.

Thomson 2 (T_2): la determinación de la razón masa/carga (m/e) para decidir si los rayos catódicos eran iones o partículas universalmente cargadas. El texto debe explicar que Thomson decide medir la relación masa/carga para identificar los rayos catódicos como iones (razón no constante) o como partículas universalmente cargadas (razón constante), las que posteriormente denominó electrones.

Rutherford 1 (R_1): el átomo nuclear. El texto debe explicar que los experimentos de Rutherford con partículas alfa y el modelo resultante tuvieron que competir con un programa rival, específicamente el modelo del átomo de Thomson, mencionado por los textos como "el pudín con pasas" o "uvas en gelatina".

Rutherford 2 (R_2): la probabilidad de grandes desviaciones es excesivamente pequeña cuando el átomo es el centro de un campo eléctrico intenso. El texto debe explicar que el argumento crucial que confirmó el apoyo al modelo de Rutherford no fue el gran ángulo de desviación de las partículas alfa (un importante hallazgo), sino más bien, el conocimiento de que únicamente, 1 de 20.000 partículas se desviaron en ángulos grandes.

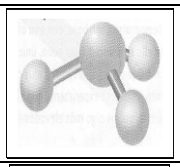
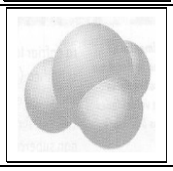
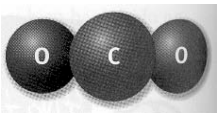
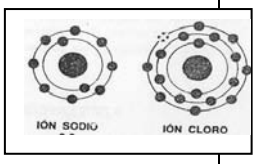
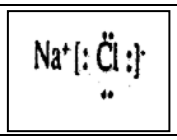
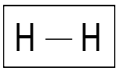
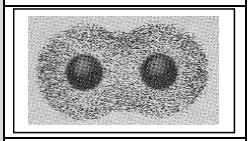
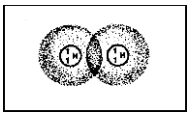
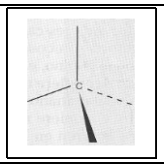
Rutherford 3 (R_3): desviación de partículas alfa debido a dispersiones simples. El texto debe explicar que el objetivo de Thomson al postular su hipótesis de las dispersiones múltiples (multitud de pequeñas dispersiones que al sumarse hacían una gran desviación), era mantener y defender su modelo del átomo y explicar las grandes desviaciones de las partículas alfa. La rivalidad entre la hipótesis de Rutherford, de la dispersión simple basada en un choque sencillo, y la hipótesis de Thomson de las dispersiones múltiples, llevó a una agria disputa entre los defensores de ambos modelos.

Bohr 1 (B_1): la estabilidad paradójica del modelo del átomo de Rutherford. El texto debe señalar que el objetivo fundamental de Bohr era explicar la estabilidad paradójica del modelo del átomo de Rutherford, el cual constituía un programa rival para su propio modelo. El aporte fundamental de Bohr fue la cuantización del modelo atómico de Rutherford.

Bohr 2(B_2): : explicación de las líneas espectrales del hidrógeno. El texto debe explicar que cuando Bohr postuló su modelo cuantizado del átomo (primera versión de su artículo de 1913), no había oído aún de las fórmulas de Balmer y Paschen, para el espectro de hidrógeno. La teoría de Bohr, sin proponérselo, predijo las series espectrales de Balmer y Paschen.

Bohr 3 (B_3): : el profundo vacío filosófico. El texto debe explicar que la incorporación, por parte de Bohr, de la teoría de los cuantos de acción de Planck a la electrodinámica clásica de Maxwell, representó una extraña "mezcla" para muchos de los contemporáneos de Bohr y los filósofos de la ciencia. Este episodio ilustra cómo los científicos, cuando enfrentan dificultades, frecuentemente recurren a tales "injertos" contradictorios.

Anexo 3: *Diferentes modelos de representación de moléculas de Benarroch et al. (2008)*[21].

1. BOLAS Y VARILLAS	Es una representación tridimensional en la cual se indican los átomos mediante bolas y las uniones entre los mismos con varillas.	
2. FUSIONADO / EMPAQUETAMIENTO	Muestra en forma tridimensional los átomos unidos en forma compacta y sin indicar los enlaces entre los mismos	
3. BOLAS	Es una representación tridimensional en la que los átomos están unidos manteniendo su individualidad	
4. VARILLAS	No se indican los átomos, sino sus enlaces. Es una representación tridimensional	
5. NIVELES ELECTRÓNICOS	Se representan los átomos con el núcleo y los electrones alrededor distribuidos según el nivel de energía.	
6. LEWIS	Se representa cada átomo con su símbolo, rodeado de puntos que representan los electrones de valencia	
7. DIAGRAMA DE RAYAS	Vincula los átomos con una raya por cada par de electrones que comparten.	
8. COMBINACIÓN LINEAL DE ORBITALES ATÓMICOS (CLOA)	Se superponen los extremos de los orbitales atómicos que intervienen en el enlace.	
9. ORBITALES MOLECULARES (OM)	Se representa el nuevo orbital molecular formado por la superposición de los orbitales atómicos.	
10. CUÑAS	Es una representación tridimensional donde se indican los símbolos de los elementos y los enlaces que están en el plano del papel, hacia delante y hacia atrás del mismo	
11. MOLECULAR	Indica los átomos y la cantidad de los mismos que forman la molécula.	**H_2O**