

# SOBRE UN PUNTO DE VISTA HEURÍSTICO RELATIVO Á REALIDADE MOLECULAR

CID MANZANO, RAMÓN<sup>1</sup>; VALIÑA LEMA, ISAAC<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*rcidmanzano@gmail.com*

<sup>2</sup>*IES de Curtis (A Coruña). isaacv@edu.xunta.gal*

**Resume:** Presentamos un recurso sinxelo para achegar o alumnado á realidade molecular en educación secundaria. Utilizamos unha acción procedimental simple utilizando un refresco de cola e realizando unha aproximación semicuantitativa.

**Palabras clave:** Química en contexto, aproximación á realidade molecular, traballo experimental, aprendizaxe práctica, ensino contextualizado.

**Abstract:** We present a simple resource to introduce students to molecular reality in secondary education. We use a simple procedural action using a cola soft drink, and we carry out a semi-quantitative approach.

**Keywords:** Chemistry in context, approach to the molecular reality, experimental instruction, hands-on learning, contextualized teaching.

## 1. Introducción

A actividade que propoñemos é de carácter experimental e ten como obxectivo o achegamento do alumnado de secundaria á realidade molecular. Facemos unha aproximación semicuantitativa, dentro dunha estratexia didáctica baseada na contextualización, a indagación e a modelización (Caamaño, 2011), e na argumentación e no uso de probas (Jiménez Aleixandre e Puig, 2013). Todas estas accións están presentes na nosa proposta.

Usamos no título a palabra “heurístico” por se axustar o seu significado ao noso procedemento e propósito. En efecto, no Dicionario da RAG atopamos a seguinte definición: “A heurística é unha forma de traballar para resolver os problemas, aprender, ou facer descubrimentos que usa métodos prácticos, que non garante unha solución ideal ou perfecta, aínda que suficiente para os obxectivos inmediatos”.

Pero debemos tamén dicir que forzamos intencionadamente a elección deste título para facer a nosa modesta contribución á celebración do próximo aniversario (120 anos) da publicación en

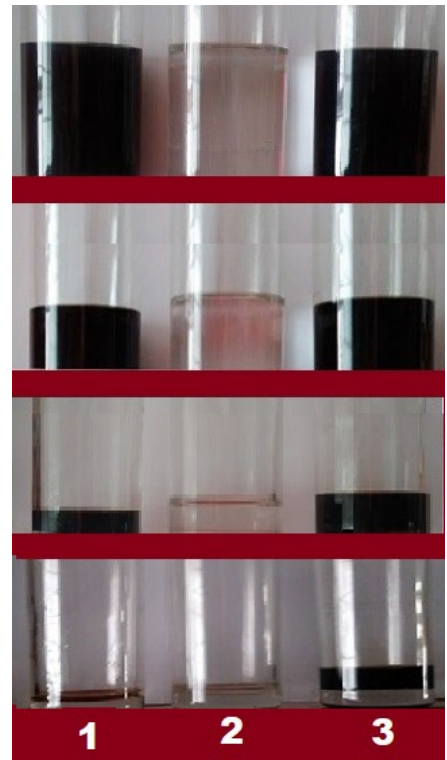
1905 do artigo de Einstein<sup>1</sup> que establecería de xeito definitivo o enfoque cuántico para explicar o funcionamento do universo. Obviamente, non existe, máis aló da forzada coincidencia no título, ningunha conexión, relación, nin parecido, en ningún sentido, entre o noso traballo e o do Einstein.

Entrando xa directamente no contido do artigo, xustificamos a elección deste tópico, o modelo cinético-molecular da materia, por se tratar dun dos contidos que presenta máis dificultades epistemolóxicas para ser ensinado na Química en secundaria. Trátase dunha cuestión de máximo interese para a aprendizaxe da Química (Gentil, Iglesias e Oliva, 1989; Benarroch, 2000; Ibáñez e Gianna, 2012), pois da súa adecuada comprensión vai depender, en boa medida, a adecuada interpretación de moitos fenómenos, e, xa que logo, a correcta aprendizaxe dos contidos químicos asociados. Son moitos os exemplos que se poden levar a aula, e tamén ao laboratorio, para facilitar a comprensión deste contido (por exemplo: Aragón, Bonat, Mateo e Oliva, 2003).

A acción que presentamos céntranse na diminución do volume por perda de CO<sub>2</sub> e por evaporación de auga nun líquido, insistindo na idea de que vai ser o modelo cinético-molecular o que debe explicar o que está a ocorrer. O procedemento experimental é moi sinxelo pois só implica a toma de medidas de altura de líquidos nun vaso recto.

No procedemento que aquí se presenta é esencial que os razoamentos e argumentos se orienten na dirección de interpretar os procesos en base á presenza de entidades atómico-moleculares, e polo tanto, á existencia da discontinuidade da materia. Obviamente, a profundidade destas discusións e argumentacións dependerá do nivel escolar correspondente, implicando aproximacións simplemente cualitativas nalgúns casos e semicuantitativas nos máis avanzados.

Unha particularidade que é preciso sinalar é que se trata dunha acción que se estenden tempo moito máis que as habituais “prácticas de laboratorio”, pois implica o seguimento do proceso durante varias semanas. Pero estamos a falar dunha toma de datos moi fácil que apenas implica uns poucos minutos unha vez por semana, e, polo tanto, repartindo esas medidas entre o alumnado (por exemplo, por parellas) ao longo do proceso, evítase a alteración do normal desenvolvemento da actividade lectiva.



**Figura 1.** *Desenvolvemento da actividade no tempo.*

<sup>1</sup> EINSTEIN A. (1905). Über einen die Erzeugung und Verwarndlung des liches betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, vol. 322, Issue 6, pp.132-148. A tradución ao galego é: “Sobre un punto de vista heurístico relativo á produción e o tratamento da luz”. Este traballo foi fundamental para que Einstein recibise o Premio Nobel en 1921.

## 2. A actividade proposta

Dispoñemos en tres recipientes idénticos con volumes iguais: (1) refresco de cola sen azucre, (2) só auga, e (3) refresco de cola azucrado. Propoñemos facelo con recipientes rectos (vasos cilíndricos, por exemplo), medindo a altura que alcanza cada líquido no vaso unha vez por semana (Fig.1). No caso aquí presentado, o volume inicial é de 150 mL e a altura de partida é de 9 cm.

Como o desenvolvemento da acción vai tomar varias semanas (o primeiro trimestre escolar, por exemplo) polo que hai que se asegurar que eses tres vasos estean situados nun lugar no que permanezan illados de calquera incidencia. Non importa que cambien as condicións físicas (temperatura, luz, humidade ou presión atmosférica) pois afectarán ás tres mostras do mesmo xeito. Ademais, a actividade pode realizarse tanto no laboratorio escolar como de maneira individual polo alumnado na súa casa.

Como xa se indicou, a longa duración da actividade non implica ningún problema porque as medidas a realizar se fan moi rapidamente e unha vez por semana, polo que, ben organizadas, non deben interromper ningunha outra acción escolar. Ademais, debemos aproveitar este longo tempo para que os cambios que se vaian observando interveñan na discusión en diferentes momentos, facilitando o proceso de aprendizaxe baseado na argumentación e uso de probas.

## 3. A aproximación cualitativa

O obxecto deste artigo é presentar unha aproximación semicuantitativa, pero consideramos necesario expoñer, previamente, e de xeito breve, a aproximación cualitativa. Este achegamento, xunto con outras achegas o ensino do modelo cinético-molecular, foi feito noutro artigo dun xeito máis concreto (Cid e Valiña, 2022).

Na diminución do volume deberemos ter en conta a perda por saída de  $\text{CO}_2$  e por evaporación de  $\text{H}_2\text{O}$ . Obviamente, o primeiro non ocorrerá no recipiente que só contén auga, mentres que o segundo proceso acontece nos tres. Neste proceso de liberación de sustancias temos un primeiro impedimento cinético-molecular, debido á presenza sobre a superficie dos líquidos das moléculas que forman o aire ( $\text{N}_2$  e  $\text{O}_2$ , fundamentalmente), ou se se quere dicir doutro xeito, debido á presión atmosférica. Obviamente, esta situación é a mesma para os tres recipientes, porén, consideramos de interese didáctico facer mención deste caso pois axuda no propósito de facilitar a discusión en termos de cinética molecular. Para diferenciar o que sucede nos tres vasos debemos ter presente os outros compoñentes nos respectivos líquidos. Centrémonos na presenza de sacarosa, pois as outras sustancias están en moi baixa concentración. Este é o caso dos gases do aire disoltos no líquido, ou de aditivos que presentan os refrescos de cola. En efecto, un refresco de cola azucrado presenta unha concentración de arredor do 10% en masa de sacarosa mentres que os sen azucre utilizan aditivos (ciclamato sódico, acesulfamo K ou aspartamo) con poder edulcorante que vai dunhas 50 a 200 veces o da sacarosa, o que implica que estean presentes en concentracións que son moito máis pequenas ca do disacárido. Polo tanto, diferenciaremos os casos pola presenza ou non de sacarosa.

A idea clave aquí é considerar que a presenza deste azucre na superficie do líquido dificulta a saída das moléculas de  $\text{CO}_2$  e de  $\text{H}_2\text{O}$  desde o líquido, como o farían follas ou plantas flotando nun estanque. Isto ocorrerá soamente no caso do refresco con azucre, xa que nos outros dous líquidos non hai sacarosa.

Con estas hipóteses de traballo tres argumentacións aparecen como máis plausibles, tendo que ser corroborados coas medidas experimentais.

A primeira lévanos a que a maior diminución en volume ocorrerá no refresco sen azucre (1), pois nel hai saída “sen impedimentos” de dúas sustancias ( $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ).

O segundo razoamento presenta dúbidas sobre o que vai acontecer nos outros dos recipientes, (2) e (3), en boa parte do proceso, pois sendo certo que a presenza de sacarosa dificulta a evaporación de auga no (3), hai tamén perda de volume por saída de dióxido de carbono, que ten un ritmo de liberación desde o disolvente moito maior que o da auga. Será o resultado experimental o que nos permitirá valorar que proceso é o determinante, no seu caso.

E, en terceiro lugar, debemos esperar que a partir de certo momento o que presente o menor ritmo de diminución de volume sexa o refresco con azucre (3), pois terá rematada a saída de  $\text{CO}_2$  e a concentración de sacarosa na superficie vai en aumento segundo diminúe o volume do líquido.

O resultado final desde un punto de vista visual xa o podemos deducir a partir da Figura 1. En efecto, podemos ver como o volume baixa máis rapidamente no vaso (1) e despois no vaso (3), pero a partir de certo momento faise máis lento, neste último, o ritmo de perda de volume. Vemos tamén que co paso das semanas o aumento progresivo da concentración de sacarosa na superficie do líquido do vaso (3) provoca que vaia diminuíndo o ritmo de evaporación de auga, non influíndo a saída de  $\text{CO}_2$  pois xa non quedará case nada.

Hai que indicar que cando o proceso finaliza quedará un pouso escuro no primeiro vaso (os diferentes aditivos do refresco sen azucre), nada no segundo vaso, e unha mestura almibrada no terceiro.

Toda esta argumentación resulta máis comprensible a partir da gráfica da Figura 2, que recolle as medidas das alturas nos tres vasos, tomadas semanalmente.

Vemos nela como nos dous vasos con refresco de cola, cola light (1) e cola normal (3), prodúcese inicialmente unha taxa de diminución máis acusada que no que só contén auga. Este ritmo é máis acentuado ao comezo pola saída do dióxido de carbono. Despois de que a maior parte dese gas foi liberado (a partir da terceira semana) o proceso mantense case lineal, con pequenas oscilacións debidas aos cambios de condicións externas (temperatura e humidade, esencialmente), sendo este comportamento practicamente constante desde o inicio no caso do vaso (2).

A progresiva diminución do volume de líquido no vaso (3) (cola normal, con azucre) produce o conseguinte aumento da concentración de sacarosa na súa superficie, o que fai máis lenta a taxa de evaporación de auga. Isto fai que o ritmo de diminución do volume decreza desde a semana 4, e a partir da semana 9 o nivel de líquido no vaso (2), con só auga, xa é inferior ao do vaso (3). Finalmente, entre a semana 12 e 13, os vasos (1) e (2) xa perderon toda a auga, mentres que o vaso (3) vai manter un moi lento descenso ata formar unha mestura final de auga e sacarosa (unha especie de almibre).

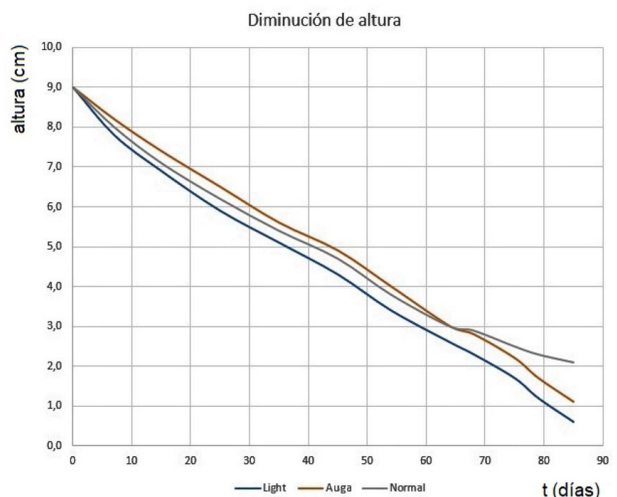


Figura 2. Gráfica da perda de volume na actividade.

#### 4. A aproximación semi-cuantitativa.

Agora entramos no obxectivo fundamental deste artigo. Despois de nos ter achegado ao proceso desde unha análise cualitativa, que é esencialmente fenomenolóxica, presentamos unha proposta de aproximación semi-cuantitativa, máis próxima á verdadeira Química, pero co mesmo obxectivo de axudar a reforzar o proceso de comprensión do modelo cinético-molecular. Esta acción realízase nunha sesión normal de clase cando se considere que o alumnado debe comezar a conectar o modelo descontínuo da materia cos fenómenos químicos, e coas necesarias adaptacións ao nivel do alumnado implicado.

Imos facer de seguido unha serie de suposicións que son aproximacións “interesadas”, pero lembramos aquí a definición de “heurístico” indicada na introdución deste traballo: “forma de traballar para resolver os problemas, aprender, ou facer descubrimentos que usa métodos prácticos, que non garante unha solución ideal ou perfecta, aínda que suficiente para os obxectivos inmediatos”.

Xa insistimos nas argumentacións anteriores que vai ser a sacarosa quen marque a diferenza no proceso de diminución do volume nos tres vasos. A molécula de sacarosa (Fig.3), de fórmula  $C_{12}O_{11}H_{22}$ , presenta oito grupos OH que se “confunden” cos das moléculas de  $H_2O$  na disolución. Polo tanto, podemos, en aproximación simple, supoñer que as implicacións que esta sustancia ten sobre o ritmo de saída de moléculas de  $CO_2$  e  $H_2O$  débese ao agrupamento de átomos descontados eses oito grupos OH. É dicir, deberemos ter en conta agrupamentos de átomos representados pola fórmula  $C_{12}O_3H_{14}$ .

Por outra parte, podemos tamén supoñer, a efectos didácticos, que eses agrupamentos (nos que prescindimos dos oito grupos OH) presentan una configuración cuasi-plana. Obviamente, isto non é así, pois non se trata dunha estrutura ríxida, sendo moitas as conformacións posibles, pero, sexa cal for a que presente en cada instante, está a dificultar a saída do  $CO_2$  e  $H_2O$  desde a superficie do líquido.

Os valores dos raios covalentes dos átomos presentes ( $r_H = 0,34$  pm;  $r_O = 0,73$  pm;  $r_C = 0,77$  pm) permítenos facer as dúas seguintes simplificacións: os átomos de O e C cobren superficialmente a mesma superficie, e eles abarcan catro veces a do átomo de H, pois O e C presentan o dobre de valor para o raio atómico. Con estas consideracións, temos que a “superficie efectiva molecular”

do agrupamento  $C_{12}O_3H_{14}$  (que denotaremos como  $S_A$ ) será en unidades de “superficie do átomo de H” ( $S_H$ ):

$$S_A = 12 \cdot (4 \cdot S_H) + 3 \cdot (4 \cdot S_H) + 14 \cdot S_H = 74 \cdot S_H$$

Pola súa parte, unha molécula de  $H_2O$  presentará unha “superficie efectiva molecular” de:

$$S_{auga} = 1 \cdot (4 \cdot S_H) + 2 \cdot S_H = 6 \cdot S_H$$

Polo tanto, a relación entre a superficie do agrupamento e a da auga será:

$$S_A / S_{auga} \approx 12$$

É dicir, na nosa aproximación, cada molécula de sacarosa “cobre” superficialmente unhas 12 veces o valor da molécula de  $H_2O$ . Se no canto de ter

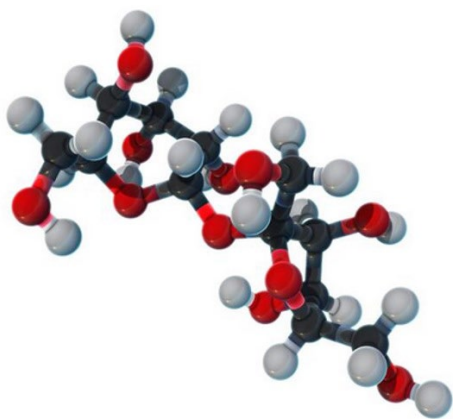


Figura 3. A molécula de sacarosa.

realizado estas consideracións tomásemos simplemente as masas moleculares correspondentes (do  $C_{12}O_3H_{14}$  e do  $H_2O$ ), teríamos:

$$M_A / M_{auga} \approx 11$$

non sendo moi diferente o resultado. Porén, cremos que, a efectos de lograr o propósito de achegar o modelo molecular ao alumnado, é máis efectivo o razoamento baseado en consideracións superficiais.

Agora ben, a concentración de sacarosa nun refresco de cola é de aproximadamente o 10 % en masa. Teremos entón:

$$10 \text{ g de sacarosa por cada } 90 \text{ g de auga}$$

e en termos molares, a relación será:

$$(10/342) / (90/18) = 6 \cdot 10^{-3}$$

É dicir, a sacarosa representa no refresco de cola un 0,6 % en termos molares, e por tanto un 0,6 % en termos moleculares. Pero, como cada molécula deste azucre posúe unha “superficie efectiva” dunhas 12 veces á da auga (na aproximación feita antes), o valor efectivo real será:

$$0,6 \times 12 \approx 7 \%$$

Así que, inicialmente, a sacarosa “cubre” un 7 % da superficie do líquido e isto implicará que o vaso con cola normal presente un 7 % menos de ritmo de liberación tanto de  $CO_2$  como de  $H_2O$  ca no caso da cola sen azucre. Aínda así, inicialmente a liberación desas dúas sustancias fai que o vaso (3) supere nese ritmo de liberación á do vaso (2) con só auga. Isto é o que podemos ver na gráfica (Fig.2).

Cando pasan unhas 4 semanas (~ 30 días) podemos ver nesa gráfica que o volume reduciuse nun terzo, e polo tanto a presenza superficial da sacarosa será maior. En concreto, a concentración será agora 1,5 veces a inicial, e, polo tanto a presenza superficial será do aproximadamente  $1,5 \times 7\% \approx 11\%$ . Loxicamente, ten que decrecer o ritmo de liberación, e, polo tanto debe baixar a taxa de diminución do volume do líquido (3).

Se nos fixamos na gráfica, arredor da semana 9 (~ 60 días), o volume reduciuse en dous terzos e, polo tanto, a concentración é agora o triplo da inicial, sendo logo a presenza superficial da sacarosa de  $3 \times 7\% \approx 20\%$ , aproximadamente, facéndose aínda máis lenta a taxa de diminución do volume. A partir dese momento o ritmo de liberación no vaso (3) xa é menor cá do vaso (2), o que se observa na gráfica cando as dúas curvas se cruzan.

Finalmente, nas semanas seguintes o freo á liberación é moi alto e a curva do vaso (3) vaise achegando á horizontal. Podemos imaxinar un estanque cheo con nenúfares, ou eses reservorios de auga que se enchen con esferas flotantes para evitar a evaporación superficial.

Unha opción máis simple para esta actividade sería a de considerar a molécula de sacarosa na súa totalidade (sen prescindir nos cálculos dos oito grupos OH). Neste caso, a relación de “tamaño superficial” do azucre e o da auga sería:

$$S_{sacarosa} / S_{auga} \approx 20$$

e os valores de superficie cuberta (que no razoamento anterior eran do 7 %, 11 % e 20 %, segundo a semana estudada) serían neste caso do 12 %, 18 % e 36 %, respectivamente. Polo tanto, os razoamentos son relativamente semellantes aos indicados anteriormente, aínda que consideramos mellor para a nosa proposta os primeiros, pois achéganse máis á realidade molecular existente en termos xeométricos.

## 5. Finalizando

Como foi sinalado ao comezo deste artigo, téñense feito moitos esforzos didácticos tendentes a conseguir a asimilación temperá da visión cinético-molecular da materia por parte do alumnado, tanto desde descrições baseadas en analoxías como a través de estratexias explicativas de diferentes contidos conceptuais. Pensemos, por exemplo, nas explicacións que se dan do concepto de presión ou o de temperatura en gases a partir do modelo cinético-molecular. Pero o gran problema epistemolóxico que aparece en moitas destas propostas provén de considerar que o alumnado debe asumir como premisa previa que a materia é descontínua, sen ningunha argumentación que proveña dun razoamento persoal. É certo que as veces se utilizan a tal fin as leis ponderais e volumétricas, e a hipótese de Avogadro, pero sempre desde un marco teórico, conceptual e afastado da realidade próxima do alumnado, o que non axuda, en xeral, ao obxectivo pretendido.

A nosa proposta tenta que alumnas e alumnos “cheguen a esa conclusión” a través da argumentación e o uso das probas desde a acción presentada. Tamén partimos da existencia do escenario molecular, pero o alumnado comproba experimentalmente que ese modelo responde ás probas, e iso ocorre sendo eles protagonistas activos da actividade. A aproximación desde a estratexia semicuantitativa aquí presentada pretende conectar con máis rigor os fenómenos que se están producindo desde a realidade molecular.

Hai que facer moitas simplificacións co fin de evitar complicacións nos razoamentos, pero os contidos químicos que se explican nestes niveis de ensino están cheos de axustes, aproximacións e reducións que se asumen como necesarios ante a innegable dificultade que a Química presenta para o alumnado de secundaria. Ademais, non hai que escapar das dificultades e discusións que aparezan por causa desas aproximacións. Eses debates serán sen dúbida de gran axuda para a aprendizaxe que se pretende.

Aquí temos presentado a experiencia usando refrescos de cola, por nos parecer os máis próximos ao alumnado, pero, obviamente poden usarse outras bebidas carbonatadas con ou sen azucre, ou disolucións acuosas con soluto molecular non volátil, como outros sacáridos, ácido cítrico, ou ácidos débiles como o acético. Mesmo podemos pensar en disolucións con etanol como disolvente, o que diminuiría o tempo do proceso por ser este alcohol máis volátil ca auga.

Na introdución mencionamos un traballo de Einstein de 1905 en relación ao título do noso artigo, se ben esa publicación nada tiña que ver coa discontinuidade da materia. Pero ese mesmo ano (coñecido como “annus mirabilis” polos cinco extraordinarios traballos presentados) publicou un artigo que si se relaciona directamente coa natureza corpuscular<sup>2</sup>. Despois, en 1908, o francés Jean Baptiste Perrin estudou a maneira na que as partículas sedimentan na auga pola influencia da gravidade, e utilizou as ecuacións do artigo de Einstein para calcular o tamaño das moléculas. O científico francés recibiría o Premio Nobel de Física en 1926 por este traballo. Adóitase dicir que o traballo teórico de Einstein e o experimental de Perrin neste campo permitiron “ver”, por primeira vez, a natureza corpuscular da materia, e, polo tanto, a existencia de átomos e moléculas.

Esa posibilidade de “ver” as moléculas é tamén a nosa modesta intención, desde o punto de vista didáctico, en relación ao alumnado de secundaria.

---

<sup>2</sup> EINSTEIN A. (1905). Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. *Annalen der Physik*, vol. 322, pp.549-560. A tradución ao galego é: “Sobre o movemento de pequenas partículas suspendidas en líquidos en repouso requerido pola teoría cinético-molecular da calor”.

## 6. Referencias

- Aragón, M. M., Bonat, M., Mateo, J., e Oliva J. M. (2003). Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 429-444.
- Benarroch, A. (2000). Del modelo cinético-corpúscular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 23, 95-108.
- Caamaño, A. (2011). Enseñar Química mediante la contextualización, la indagación y la modelización. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 69, 21-34.
- Cid, R. e Valiña, I. (2022). Hablando del modelo cinético-molecular con un refresco de cola. *APeDuC Revista/ APeDuC Journal* (2022), 03(02), 45-54.
- Gentil, C., Iglesias, A. e Oliva J. M. (1989). Nivel de apropiación de la idea de discontinuidad de la materia en alumnos de bachillerato. Implicaciones didácticas, *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 126-131, 1989.
- Ibáñez, F. e Gianna, V. (2012). La teoría cinética molecular y el aprendizaje de la Química. *Educ. quím.*, 23(2), 208-211.
- Jiménez Aleixandre, M. P. e Puig, B. (2013): El papel de la argumentación en la clase de ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 75, 85-90.