



Enseñanza sobre gases, líquidos y sólidos

Una progresión hacia la estructura
de todas las cosas

**Joaquín Martínez Torregrosa, Juan Francisco Álvarez Herrero, Rubén Limiñana,
Asunción Menargues, Carolina Nicolás, Alexandra Rey, Sergio Rosa, Francisco Savall**
Universidad de Alicante



PALABRAS CLAVE

- MODELO CORPUSCULAR
- CARGA ELÉCTRICA
- GASES
- LÍQUIDOS Y SÓLIDOS

En este artículo proponemos un itinerario para la enseñanza de la estructura de todas las cosas, con especial atención a la base del mismo en la ESO: la existencia de características comunes, el modelo cinético-corpúscular y la integración de la carga eléctrica como una propiedad general de los materiales y, por tanto, de las partículas.

En nuestra vida cotidiana no nos encontramos con átomos o moléculas, sino con «trozos» de materiales, que pueden ser gases, líquidos o sólidos (en adelante, GLS), con una enorme variedad y gradación de propiedades. ¿Esta ingente diversidad que percibimos se debe a que cada uno está formado de un modo esencialmente diferente, o existen unas «piezas» comunes a todos y es la forma en que se unen («la estructura») lo que genera la heterogeneidad macroscópica de propiedades y comportamientos? El intento de responder a esta pregunta constituye un hilo conductor que puede extenderse desde la etapa primaria a la investigación actual en físico-química cuántica.

El modelo sobre la estructura de los GLS que pueden llegar a tener los alumnos y alumnas al final del bachillerato estará constituido por conocimientos que habrán ido adquiriendo en distintos cursos y asignaturas y, en ocasiones, de una manera no explícitamente buscada. La forma en que se transmiten las fuerzas en los GLS, el movimiento armónico simple y las ondas mecánicas, la corriente eléctrica, la emisión y absorción de radiación electromagnética, las entalpías de fusión y vaporización, el efecto fotoeléctrico, etc., además del enlace químico, son aspectos que pueden utilizarse para construir o enriquecer un modelo «escolar» de estructura de GLS con amplia capacidad explicativa de muchos aspectos cotidianos. Pero, sin duda, la base sobre la que se

deben ir incorporando todos esos conocimientos es la teoría atómico-molecular, cuya adquisición por el alumnado es uno de los grandes objetivos de la enseñanza de las ciencias en la ESO. Así pues, **es importante que nos ocupemos en identificar –aunque sea a grandes rasgos– un posible itinerario de enseñanza que pueda generar un aprendizaje con sentido (justificado y funcional) de dicha teoría y de algunos de sus modelos «derivados», como el del enlace químico.** En este trabajo mostramos una propuesta de itinerario a lo largo de la secundaria (ver cuadro) que parte del reconocimiento de propiedades comunes a todos los sistemas materiales, lo que justifica indagar sobre la existencia de una estructura común que debe, al mismo tiempo, explicar la diversidad (cuadro 1).

Dado que muchos de los temas mostrados en dicho cuadro han sido tratados recientemente en los monográficos 86, 90, 93 y 97 de esta revista, nos limitaremos a comentar los problemas que constituyen la base del itinerario propuesto, antes de la teoría atómico-molecular.

■
A la diversidad inicial de los gases se añade el hecho de considerarlos «no materiales», diferentes de sólidos y líquidos

Título/s habitual/es	Título como problema	Secuencia de temas/problemas
Volumen, masa, densidad Modelo corpuscular	¿Cómo están formadas las cosas «por dentro»? ¿Son totalmente distintas o tienen algo en común?	Las cosas son muy distintas, pero ¿existen propiedades comunes a todas ellas? Si tienen propiedades comunes, ¿hay una estructura común a todas las cosas?
Electrostática	Si todo está formado por partículas, ¿por qué existen GLS? ¿Cómo es posible que desaparezcan sustancias y aparezcan otras distintas?	¿Qué es lo que hace que haya GLS? (otra propiedad general: la carga eléctrica).
Estructura de las sustancias Reacciones químicas	¿Cómo es posible la enorme cantidad de sustancias diferentes?	Si hay propiedades y una estructura común, ¿por qué hay sustancias tan diversas? ¿Cómo pueden desaparecer unas sustancias y aparecer otras diferentes?
Estructura del átomo Enlace	¿A qué se deben las propiedades dispares de las sustancias? ¿Por qué una misma sustancia tiene propiedades diferentes en fase gaseosa, líquida o sólida?	¿Cómo son los átomos por dentro? ¿Si solo hay tres partículas distintas, por qué hay tantos elementos dispares? ¿Cómo se unen los átomos para formar moléculas? ¿Cómo se forma/destruye la estructura de los líquidos o sólidos al cambiar la temperatura?

Cuadro 1. Propuesta de itinerario «hacia la estructura de todas las cosas»

¿CÓMO VA A EXISTIR UNA ESTRUCTURA COMÚN EN GLS SI NO TIENEN PROPIEDADES COMUNES?

Lo más llamativo en nuestra experiencia cotidiana con los materiales es su diversidad: la clase y el grado de las propiedades de materiales sólidos y líquidos son enormes. Pero si consideramos también los gases, a esta diversidad inicial se añade una barrera conceptual e histórica: la de estimarlos «no materiales», esencialmente diferentes de sólidos y líquidos. Si no existieran propiedades comunes a todas las cosas, tendría poco sentido buscar una constitución común. Luego lo lógico es indagar si existen propiedades comunes a todos los materiales, por muy distintos que parezcan. El alumnado de los primeros cursos de la ESO no tiene dificultades especiales en admitir que

todos los materiales sólidos o líquidos tienen masa (pesan) y volumen. No ocurre lo mismo, como es bien sabido, con los gases. Es el momento de trabajar para asignar propiedades «materiales» a estos: se pueden encerrar, ver, ejercen fuerzas sobre otros objetos, pesan (tienen masa) y ocupan el volumen del recipiente en el que se encuentran. A los 12-14 años, el diseño y realización de experimentos relativos a las propiedades citadas de los gases (pesar balones o garrafas de plástico «deshinchados» e hinchados; extraer aire de un matraz Erlenmeyer, pesar el conjunto y medir qué pasa cuando dejamos entrar aire; medir volúmenes de gases –su capacidad pulmonar, por ejemplo– con jeringas, botellas o probetas invertidas en agua...) es una forma muy efectiva de implicar a los alumnos y alumnas al inicio de la ESO.



A partir de las propiedades generales –masa y volumen– podemos concretar una intuición que todos tenemos: que objetos idénticos geoméricamente de materiales diferentes tienen masas distintas. Es decir, podemos inventar una magnitud –la densidad– que operativiza dicha intuición y permite distinguir (junto con otras propiedades) unos materiales de otros. Debemos, además, preguntarnos en qué medida las propiedades generales de los objetos cambian cuando son modificadas las condiciones en que se encuentran. El volumen es poco variable en sólidos y líquidos, incluso cuando un mismo material cambia de fase sólida a líquida (y al revés), pero varía mucho cuando hay un cambio de fase condensada a gas. Pensemos, por ejemplo, que un mol de agua líquida en condiciones estándar tiene un volumen de 18 cm^3 , pero ocupa $22,7 \text{ dm}^3$ cuando se evapora y pasa a fase gaseosa. ¡Más de mil veces mayor! La masa no varía cuando se trata de cambios físicos o químicos con materiales sólidos o líquidos, aunque se calienten o se enfríen, pero cuando se desprenden gases aparecen dudas. Dada la experiencia ya adquirida sobre la masa de un gas, se hará necesario realizar las transformaciones en recipientes cerrados si queremos comprobar si se conserva la masa cuando los materiales sufren cambios físicos o químicos. Calentar agua paulatinamente, introducir una pastilla efervescente en agua, sublimar unas bolitas de yodo... en recipientes cerrados, pesando antes, durante y después del cambio, permite generalizar justificadamente que la masa de los objetos se conserva aunque los objetos cambien física o químicamente. La masa de los 18 cm^3 de agua líquida es la misma que la de los $22,7 \text{ dm}^3$ de agua gaseosa. La masa de las sustancias LS antes del cambio químico sigue siendo igual que la masa de todas las sustancias después, aunque se hayan producido sustancias GLS dife-

Si queremos inventar un modelo sobre algo que no conocemos, tenemos que someterlo a pruebas



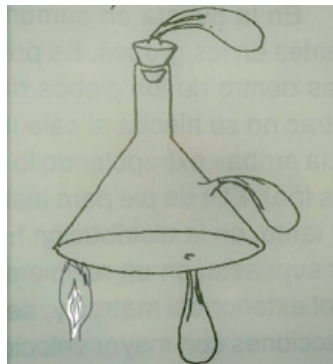
rentes. Sería posible indagar en este momento si la carga eléctrica es también una propiedad común de todos los materiales, pero consideramos mejor hacerlo cuando surja la necesidad de explicar qué mantiene unidas las partículas en líquidos y sólidos.

¿CÓMO ESTÁN FORMADOS LOS GASES «POR DENTRO»? EL MODELO CINÉTICO-CORPUSCULAR

Una vez comprobado que hay propiedades comunes a todas las cosas, tiene sentido plantear si existe una estructura común. Dada la multitud y variedad de sustancias y propiedades de LS en condiciones normales, frente al escaso número de gases diferentes y la homogeneidad en sus propiedades, lo más sencillo y lógico es comenzar por investigar cómo podrían estar formados «por dentro» los gases. La adquisición significativa del modelo cinético-corpúscular (en adelante, MCC) es un objetivo central en la alfabetización científica. Afortunadamente no presenta dificultades especiales y su aprendizaje ha sido muy investigado (Novick y Nussbaum, 1981; Brooks, Briggs y Driver, 1984; Anderson, 1986). A partir del conocimiento del alumnado acerca de los gases (enriquecido por lo tratado en el tema anterior) debemos extraer las propiedades comunes (las que identifican la fase gaseosa, no una sustancia) más importantes: se difunden y mezclan fácilmente, ejercen fuerzas contra las paredes de los

recipientes en que se encuentran, aumentan su presión sobre las paredes cuando se calientan en un recipiente cerrado y rígido, o cuando se comprimen rápidamente (adiabáticamente), tienen masa, etc. Debemos hacerles conscientes de que si queremos inventar un modelo sobre algo que no conocemos, tenemos que someterlo a pruebas: debe explicar sin contradicciones lo conocido y aplicarse a nuevas situaciones con éxito. Conviene comenzar pidiéndoles que imaginen cómo deben ser los gases «por dentro» para explicar la difusión en el aire (es decir, que el olor de la colonia o de un ambientador llegue a todas las partes del aula), lo que favorece el surgimiento de un modelo de partículas separadas en movimiento. Si se comienza por pedirles un modelo que explique, por ejemplo, que tengamos que hacer más fuerza según se comprime más el aire contenido en una jeringa, se favorecen modelos como el de «esponja», «muelles» o partículas en contacto. En cualquier caso, es esencial que surjan los modelos que puedan pensar los alumnos y alumnas y que los utilicen para explicar todas las propiedades de los gases (y no solo la que pretendía dilucidar inicialmente su modelo). El alumnado suele asignar propiedades vitalistas y/o macroscópicas a las partículas: pueden calentarse, dilatarse o «huir» de los sitios más calientes, por ejemplo. Debemos proponer actividades para hacer explícitas y discutir dichas ideas. En este sentido, la actividad de la imagen 1 (Martínez Torregrosa y otros, 1993) es útil para cuestionar la idea de que los gases van «hacia arriba» y que las partículas se dilatan o huyen de los lugares más calientes.

- Expresad qué pasará con los tres globos cuando se caliente el matraz como se indica. Dibujad las partículas que forman el aire del matraz antes y después de calentar.



Es importante asegurarse de que el modelo propuesto se extiende al propio aire, planteando actividades como: explicar el funcionamiento de una ventosa, de un cuentagotas o por qué tenemos que hacer una fuerza cada vez mayor cuando comprimimos el aire contenido en una jeringa sellada, pero también cuando lo expandimos estirando del émbolo desde la posición de equilibrio.

La enumeración de las características de este primer MCC debería ir acompañada de comentarios sobre las incontables investigaciones realizadas por equipos de científicos profesionales, durante más de siglo y medio, que nos permiten afirmar la existencia de partículas en los gases que tienen masa, se mueven caóticamente con una velocidad relacionada con la temperatura y que, en condiciones habituales del aula, se encuentran muy sepa-

■
Es esencial que surjan modelos que puedan pensar los alumnos y alumnas y que los utilicen para explicar todas las propiedades de los gases



radas entre sí. También se debe hacer referencia a que hemos considerado despreciable el volumen de las partículas comparado con el volumen ocupado por el gas y que no existía interacción entre ellas excepto cuando chocaban.

Una vez admitido el MCC para los gases, puesto que buscamos un modelo de estructura común a todos los materiales, es necesario plantear situaciones que acerquen las propiedades de LS a las de los gases, como difusión de tinta en agua, disolución de azúcar o sal, y, por supuesto, cambios de fase (sin reacción química). **Dado que la masa de un gas es la suma de las masas de sus partículas y se conserva cuando pasa a líquido al disminuir la temperatura (y al revés), las partículas siguen estando ahí, solo que ocupando un volumen más de mil veces menor, que muy difícilmente se puede reducir.** Cuando el volumen se reduce mucho acercando la densidad del gas a la de la fase líquida, su comportamiento físico se separa de la ley de Boyle ($P \cdot V = \text{constante}$, a T constante). Van der Waals recibió el Nobel en 1910 por sus trabajos sobre los gases y su transición a líquidos en los que incluyó el volumen de las partículas y la existencia de interacciones entre ellas. En fase condensada aparecen nuevas propiedades: dureza, fragilidad, viscosidad, maleabilidad, conductividad de calor y electricidad, elasticidad... Cuando las partículas disminuyen su velocidad y su separación, se hace patente la existencia de fuerzas de unión que hacen que permanezcan «empaquetadas» en LS y que aparezcan propiedades que diferencian enormemente unas sustancias de otras. No obstante, este empaquetamiento no ocurre a la misma temperatura en todas las sustancias, ni aparecen las mismas propiedades o en el mismo grado. ¿A qué pueden ser debidas esas fuerzas de unión? ¿Cómo explicar las diferencias?

¿QUÉ FUERZAS PUEDEN EXISTIR ENTRE LAS PARTÍCULAS? LA CARGA ELÉCTRICA: OTRA PROPIEDAD GENERAL

Es el momento de plantear en qué medida las únicas fuerzas atractivas entre objetos cotidianos que pueden conocer los alumnos y alumnas (imanes con objetos de hierro y las de trozos de plástico electrizado con papelitos) responden a una propiedad general de todos los materiales o no. Los objetivos son: 1) conseguir que consideren la carga eléctrica como una propiedad general de todos los materiales que se manifiesta cuando aparecen fuerzas (atractivas y repulsivas) entre objetos que no tienen nada que ver con su masa ni con imanes; y 2) adquirir un primer modelo sencillo que pueda explicar las fuerzas atractivas y repulsivas, integrado en el modelo corpuscular.

El tema puede comenzar con el docente electrizando una varilla, o un trozo de tubería, de plástico frotando con un paño de lana y acercándolo a trocitos de papel. También, dejando caer trocitos de papel sobre una lámina de plástico electrizada. Los grupos de alumnos y alumnas deben repetir lo que han visto y plantear todas las preguntas que les surjan sobre lo que está ocurriendo. ¿A qué materiales atrae el plástico electrizado?, ¿se debe al calor? (la varilla se calienta al frotarla), ¿cuánto dura el efecto?, ¿por qué saltan algunos papelitos?, ¿es lo mismo que un imán?, ¿solo ocurre con plástico o cualquier material se puede electrizar?, ¿qué pasa si acercamos dos varillas electrizadas?, ¿por qué se electriza al frotar?... Dado el interés que nos guía, una vez descartada su similitud con los imanes, nos centramos en dos cuestiones: 1) si el plástico electrizado atrae a objetos de cualquier material, y 2) si se pueden electrizar objetos de cualquier material. Ante la



Imagen 2. Al acercar el tubo electrizado, la balanza marca menos. Está estirando de la caja hacia arriba, aunque no la mueva



Imagen 3. El versorio permite detectar fuerzas atractivas y repulsivas con gran claridad. Puede colocarse la varilla electrizada sobre la base de porespán y acercarlo a objetos grandes o inmóviles

primera cuestión, el alumnado solo piensa en objetos pequeños y confunde el objeto con el material del que está hecho. Para ellos, «atraer» es sinónimo de «acercarse» (una idea espontánea): el tubo electrizado puede atraer trocitos de papel, plumas, virutas de lápiz, polvo de yeso... pero no una caja de cartón, el tablero de madera o la pared. El profesor o profesora debe expresar

que podría ser que atrajera objetos pesados pero que la fuerza fuera insuficiente para moverlos. Algunos alumnos y alumnas proponen, incluso, probar con «polvo de distintos materiales». Surge así la necesidad de disponer de instrumentos que permitan medir fuerzas pequeñas o fuerzas sobre objetos que no se pueden mover, como una pared. Utilizamos, entonces, una balanza digital para colocar objetos pesados y ver si disminuye lo que marca al acercarle una varilla electrizada (imagen 2). Asimismo, introducimos el versorio (imagen 3) tanto para colocar sobre él el objeto a probar y acercarlo a la pared, a una persona o a cualquier objeto pesado. También probamos con agua y con iodo gaseoso (empleando un vídeo grabado por nosotros en campana de gases) y generalizamos, basándonos en los resultados de muchos y buenos equipos científicos, a todos los objetos y materiales. A partir de aquí, el plan trazado continúa y debería terminar con la adquisición de un modelo de carga eléctrica como propiedad general de todas las cosas (igual que la masa). Dicho modelo (la existencia de



carga eléctrica de dos tipos en todos los objetos) debe poder explicar por qué los objetos son neutros y se electrizan al frotarlos, por qué cualquier objeto neutro (SLG) es atraído por un objeto electrizado, por qué se deselectriza rápidamente una varilla si es metálica y no ocurre así si es de plástico (conductores y aislantes), etc.

La utilización de versorios, péndulos eléctricos, láminas metálicas... para mostrar fuerzas atractivas y repulsivas que disminuyen rápidamente con la distancia hace que la enseñanza de la electrostática sea muy atractiva, al mismo tiempo que esencial, para alumnado ¡y docentes! Si las partículas, además de tener masa, tuvieran carga eléctrica podrían existir fuerzas entre ellas que tendrían más efecto cuanto más lentas y juntas estuvieran, y que podrían ser la causa de los cambios de fase. Después de avanzar en la estructura común a todas las cosas, el terreno queda, así, preparado para abordar la diversidad: si todo está formado de la misma manera, ¿cómo explicar que existan tantas sustancias distintas y que, en ocasiones, unas desaparezcan y aparezcan otras diferentes?, y continuar con el itinerario propuesto en el cuadro 1 (en la p. 10).◀

Referencias bibliográficas

- ANDERSON, B. (1986): «Pupils explanation of some aspects of chemical reaction». *Science Education*, núm. 70, pp. 549-563.
- BROOKS, A.; BRIGGS, H.; DRIVER, R. (1984): *Aspects of secondary students' understanding of the particulate nature of matter*. Leeds. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds. Disponible en línea en: <https://bit.ly/3cRTViz> [Consulta: junio de 2020.]
- JOHNSON, P. (2013): «A learning progression towards understanding chemical change». *Educación química*, núm. 24(4), pp. 365-372. Disponible en línea en:

<https://www.elsevier.es/es-revista-educacion-quimica-78-articulo-a-learning-progression-towards-understanding-S0187893X13724893> [Consulta: junio de 2020.]

MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y otros (1993): *La búsqueda de la unidad (La estructura de todas las cosas)*. Libro del profesor. Alicante. Editorial Aguaclara. Disponible en línea en: <https://bit.ly/2BYDS5Z> [Consulta: julio de 2020.]

NOVICK, S.; NUSSBAUM, J. (1981): «Pupils understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study». *Science Education*, núm. 65, pp. 187-196.

Direcciones de contacto

Joaquín Martínez Torregrosa

joaquin.martinez@ua.es

Juan Francisco Álvarez Herrero

Rubén Limiñana Morcillo

Asunción Menargues Morcilla

Carolina Nicolás Castellano

Alexandra Rey Cubero

Sergio Rosa Cintas

Francisco Savall Alemany

Universidad de Alicante

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, en julio de 2019 y aceptado en mayo de 2020 para su publicación.