



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Alfabetización científica en la escuela: una investigación sobre *De qué está hecho el mundo*

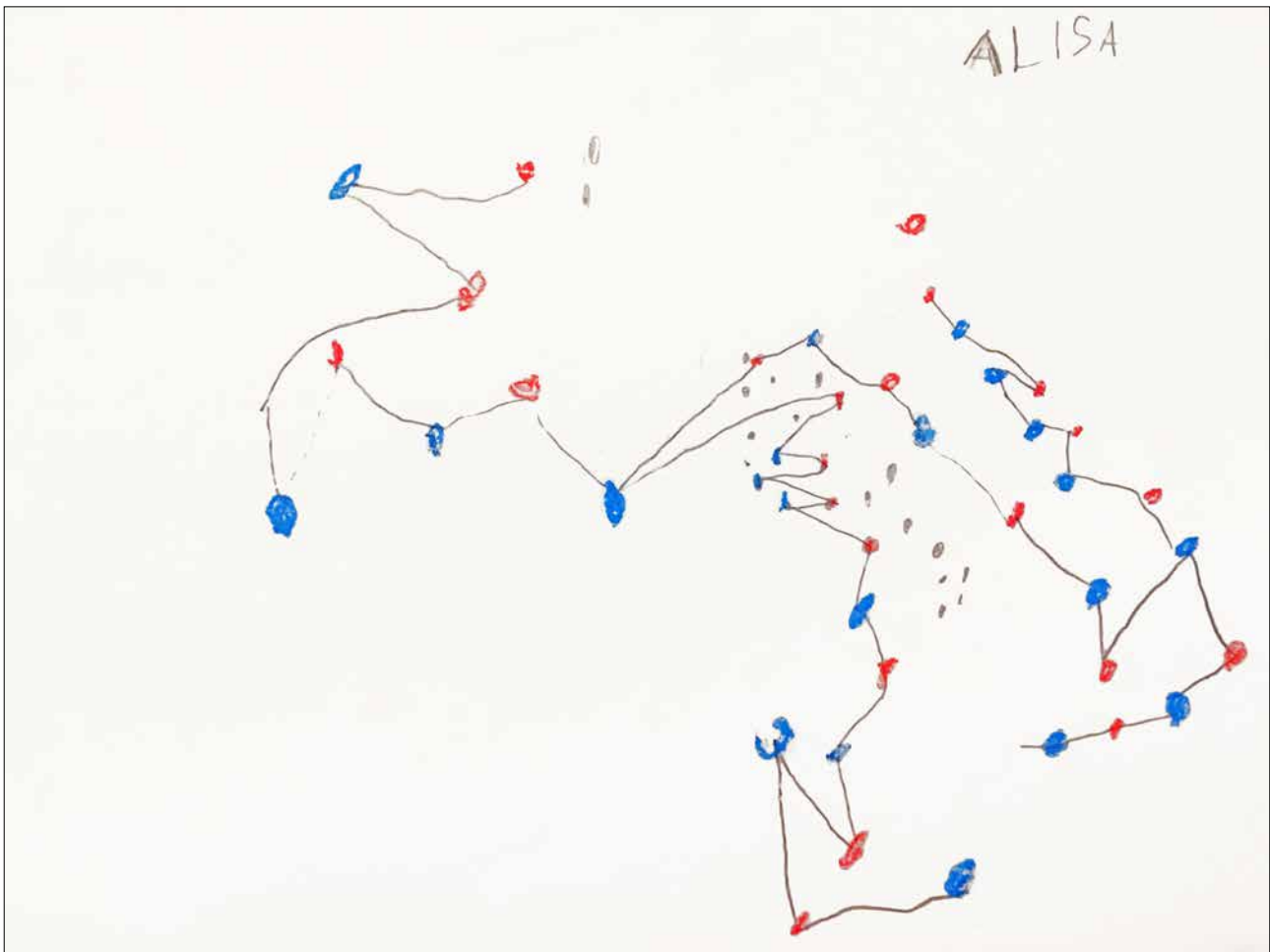
Nº PROYECTO: 2016-1-ES01-KA201-025282

Scientific literacy at the school: improving strategies and building new practices of science teaching in early years education (SciLit)



«El apoyo de la Comisión Europea para la elaboración de esta publicación no constituye un respaldo a los contenidos, que son de responsabilidad exclusiva de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en el mismo».

Cuando los y las estudiantes se dan cuenta de los procesos por los cuales comprenden los fenómenos, con ayuda de modelos mentales, aplican estos modelos para explicar nuevos fenómenos y ven lo atractiva y divertida que es la investigación científica, podemos considerar que han adquirido lo que llamamos alfabetización científica.



Dibujo realizado por una niña de 5 años, de Estonia, de su representación mental de las fuerzas entre moléculas.

ISBN: 978-84-09-03196-2

Alfabetización científica en la escuela: mejorando estrategias y construyendo nuevas prácticas para la enseñanza de la ciencia en las primeras etapas de la educación

Título original del proyecto:

Scientific literacy at the school: improving strategies and building new practices of science teaching in early years education (SciLit)

ISBN: 978-84-09-03167-2

Alfabetización científica en la escuela: una investigación sobre "De qué está hecho el mundo"

Título original:

Scientific literacy at the school. An inquiry about 'What is the world made of?'

<http://www.csicenlaescuela.csic.es/scilit/scilit.html>

Coordinadora General del Proyecto Alfabetización Científica en la Escuela (Scientific Literacy at the school)

(Proyecto nº: 2016-1-ES01-KA201-025282)

M.ª JOSÉ GÓMEZ DÍAZ (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

Socio Coordinador:

El CSIC en la Escuela (CSIC)

España

José M.ª López Sancho

M.ª José Gómez Díaz

Salomé Cejudo Rodríguez

María Ruiz del Árbol Moro

Esteban Moreno Gómez

M.ª Carmen Refolio Refolio

Pilar López Sancho

Irene Cuesta Mayor

Martín Martínez Ripoll

CESIE

Palermo, Italia

Ruta Grigaliūnaitė

Rita Quisillo

Colegio Público San Francisco

Pamplona, España

M.ª Ángeles Azanza Ezkurra

David Castrillo Pérez

Aitziber Escubi Encaje

Victoria López Gimeno

Victoria López Martiarena

Socios participantes:

CPR Gijón-Oriente

Gijón, España

Juan José Lera González

Jorge Antuña Rodríguez

Escuela Infantil "Asunduse Lasteaed"

Tallin, Estonia

Siiri Kliss

Eneli Kajak

Kristel Kukk

Julia Bondar

Annela Ojaste

KPCEN

Bydgoszcz, Polonia

Justyna Adamska

Krystyna Karpińska

Mariola Cyganek

Grażyna Szczepańczyk

Jan Szczepańczyk

Escuela Infantil P34 "Mali Odkrywcy"

Bydgoszcz, Polonia

Ewa Tomasik

Beata Zawada

Anna Widajewicz

Barbara Krakowska

Escuela Infantil "Zilvitis"

Kėdainiai, Lituania

Regina Jasinskiene

Ina Gustienė

Gitana Juodienė

Agnė Milašienė

Con la colaboración de

Isabel Gómez Caridad

Alfredo Martínez Sanz

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
• Descripción del proyecto: ¿De qué está hecho el mundo?.....	12
• Conocimientos científicos dirigidos al profesorado	12
PRIMERA PARTE. DESCRIPCIÓN CIENTÍFICA DE LA GUÍA	15
1. PRIMERA PARTE: LAS FUERZAS INTERMOLECULARES	17
1.1. Situaciones cotidianas	17
1.2. Experimentación	18
1.3. Intermedio para introducir el concepto de fuerza	19
• El proceso de formación de una gota	21
• Inventando un modelo de gota	22
• Extendiendo el modelo de piel elástica y pegajosa para explicar otras observaciones: proceso de asimilación	22
1.4. Descripción del modelo de agua: conocimiento y competencia	25
• Adquiramos la competencia necesaria en la utilización de nuestro modelo	25
1.5. El paso de un concepto a una magnitud: la medida	27
1.6. Las limitaciones del modelo de <i>piel</i>	28
1.7. Consideraciones sobre hipótesis, modelos y teorías	31
1.8. La naturaleza de las fuerzas intermoleculares	31
2. SEGUNDA PARTE: UN RÁPIDO RECORRIDO POR LA HISTORIA DE LA ELECTROSTÁTICA	33
2.1. EL NACIMIENTO DE UNA CIENCIA	34
2.2. LEUCIPO Y LAS RAZONES POR LAS QUE LA CIENCIA EXISTE.....	35
2.3. EL RENACER DEL MUNDO OCCIDENTAL	37
2.4. FRANCIS BACON INVENTA UN MÉTODO PARA HACER CIENCIA: SI ESTE MÉTODO SE SIGUE, ESTÁ GARANTIZADO QUE LO QUE SE OBTIENE ES VERDAD.....	38
• Primer nudo. El descubrimiento de las fuerzas de repulsión	39
• Segundo nudo. Los descubrimientos de Gray y Desaguliers	40
- Todos los materiales se pueden electrizar	40
- Los metales conducen la electricidad y los aislantes no la conducen	40
- El cuerpo humano conduce la electricidad	40
• Tercer nudo. Debido a Dufay	41
- Existen dos clases de electricidad.....	41
- La serie triboeléctrica	43
• Cuarto nudo. La conservación de la carga de Benjamin Franklin.....	43

2.5. Situación de la electricidad a mediados del siglo XVIII	44
A. Polarización por inducción	44
B. ¿Por qué una barra electrizada atrae a un cuerpo conductor neutro?	45
C. Análisis del experimento de Cabeo con ayuda de las leyes de la electrostática	45
3. TERCERA PARTE: CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS FUERZAS INTERMOLECULARES	47
3.1 Consideraciones sobre la estructura piagetiana de la historia y la organización didáctica de los conocimientos	50
3.2 ¿Qué explican las leyes?	51
4. CONCLUSIONES	51
SEGUNDA PARTE. DE LA FORMACIÓN AL AULA: APLICACIÓN PRÁCTICA	53
INTRODUCCIÓN	55
PARTE I. PLANTILLA PARA SER UTILIZADA EN TODOS LOS DOCUMENTOS QUE DESCRIBEN LAS ACTIVIDADES EN LAS AULAS	57
PARTE 2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LAS EXPERIENCIAS EN EL AULA DE ACUERDO CON EL ESQUEMA GENERAL PRESENTADO	61
PARTE 3. INVESTIGACIONES LLEVADAS A CABO POR LOS SOCIOS	63
• CPR Gijón-Oriente (Gijón, España). Descubriendo las leyes de la electrostática	65
• Escuela Infantil "Zilvitis" (Kėdainiai, Lituania). Evaporación y condensación: el ciclo del agua	71
• KPCEN (Bydgoszcz, Polonia) y El CSIC en la Escuela (España). ¿De qué está hecho el mundo?	81
• Escuela Infantil P34 "Mali Odkrywcy" (Bydgoszcz, Polonia). Descubriendo las fuerzas de cohesión y adherencia	97
• Colegio Público San Francisco (Pamplona, Navarra, España). Descubriendo las fuerzas de cohesión y adherencia	107
• Escuela Infantil "Asunduse Lasteaed" (Tallin, Estonia). Del azúcar a la electricidad	117

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

Esta guía didáctica responde al trabajo conjunto de científicos del CSIC y docentes de Estonia, Lituania, Polonia, Italia y España, estableciéndose una red de comunicación constante para llevar a cabo prácticas innovadoras en la enseñanza de la ciencia en las primeras etapas de la educación. Probablemente el éxito de esta colaboración se deba al atractivo que sienten los seres humanos por los procesos de descubrir y exponer lo que han descubierto y de aprender y enseñar lo que han aprendido, que es la esencia de nuestra naturaleza, especialmente en la infancia. Docentes y científicos sienten con mayor intensidad este atractivo, entre los cuales tenemos la suerte de contarnos.

Todos nos emocionamos cuando vemos cómo niños y niñas de cuatro y cinco años descubren que el agua viaja por el aire sin ser vista, haciéndose visible cuando se condensa sobre el frío cristal de la ventana, admitiendo sin esfuerzo que la forma en que viaja por el aire, necesariamente muy pequeña, recibe el nombre de molécula.

En este trabajo se han tenido en cuenta los criterios de diversidad en la educación, como el problema de género y de diferentes culturas así como el desarrollo de una actitud crítica en los niños y niñas en el camino de aprendizaje de las ciencias.

El proceso de aprender ciencia conlleva en muchos casos la asimilación de una cultura. La ciencia tiene una naturaleza que la hace diferente a otras disciplinas, ya que está basada en la independencia de criterios y en la creatividad, con su especial forma de ver el mundo, sus

valores, procedimientos y lenguaje. Por todo ello, se hace cada vez más necesario actualizar la formación científica del profesorado y la innovación en nuevos métodos de enseñanza respecto a los tradicionales. Enseñar ciencia en los primeros niveles educativos, es fundamental para estudios posteriores si se establece el método adecuado mediante el trabajo experimental.

Para conseguir la implementación de estas prácticas innovadoras en los centros educativos que han participado en este proyecto Erasmus+, se partió de tres pilares fundamentales:

- A. *Formación científica del profesorado por parte de El CSIC en la Escuela*, dotándoles de un núcleo de conocimientos científicos adecuados para abordar las prácticas innovadoras en sus aulas.
- B. *Investigación de los procesos de aprendizaje*, que ha permitido analizar la forma en que el alumnado de Infantil y Primaria realiza los procesos conceptuales y las representaciones mentales de la Naturaleza. Enseñar ciencia en Infantil y Primaria requiere de un conocimiento muy preciso de la secuencia de las etapas cognitivas. Para ello, se han diseñado sencillos experimentos adaptados a esas etapas que presenten la forma en la que el proceso de investigación (*inquiry*) lleva a descubrir leyes, teorías y modelos sobre algunos fenómenos observables de la vida cotidiana, como la evaporación del agua de la ropa colgada o la aparición de agua en las paredes de un bote muy frío.

- C. Como consecuencia de este proceso de formación e investigación se ha elaborado esta guía, una herramienta para el profesorado de los países socios. En ella se presenta la ciencia como un método para resolver problemas, facilitando el desarrollo global del alumnado a la vez que es un elemento básico para la alfabetización científica de los ciudadanos.

Descripción del proyecto: **¿De qué está hecho el mundo?**

Hemos podido investigar la capacidad de los niños y niñas para ver el mundo que no ven con sus ojos, por lo que todas las actividades que se describen a continuación tratan la diferencia entre el mundo macroscópico y el microscópico. Se descubre cómo funciona el mundo y de qué está hecho, es decir se inicia un viaje a través de la materia que se nos presenta en los estados sólido, líquido, gaseoso y plasma.

En los procesos de investigación que han realizado los alumnos y alumnas, han ido descubriendo de qué está hecha el agua, qué fuerzas actúan cuando una gota se pega a otra sustancia, qué ocurre en el proceso de evaporación o cómo se sostiene un clip en el agua; llegando a descubrir, de una manera sencilla, que el mundo está hecho de átomos, moléculas y cristales que nuestros ojos no alcanzan a ver pero que es real y tenemos que conocer cómo funciona.

Conocimientos científicos dirigidos al profesorado

Algunas consideraciones previas.

Tomando el agua como caso de estudio, por medio de experimentos sencillos y preguntas apropiadas se van conceptualizando las magnitudes relevantes que determinan el comportamiento elástico y adherente del agua en estado líquido, elaborando un modelo de superficie elástica que explique su comportamiento.

En esta guía se presenta una unidad de formación, para el profesorado de las primeras etapas educativas, en el que se tratan las fuerzas intermoleculares, responsables principales de la apariencia y comportamiento mecánico de los materiales.

Los conocimientos científicos que a continuación se describen se dividen en cuatro partes:

1. En la primera se tratan las propiedades físicas del agua debidas a las fuerzas intermoleculares, siguiendo el camino de la pregunta (*inquiry*), con el objeto de señalar la forma en la que los investigadores llevan a cabo su trabajo de experimentación y construcción de conocimiento. Por el camino de la pregunta, debemos dar una razón para este comportamiento de la superficie del agua, así como para los cambios de estado. Estos problemas se resuelven con el modelo molecular de la materia, que representamos con esferas elásticas submicroscópicas y postulando fuerzas intermoleculares de naturaleza, en principio, desconocidas. Pronto descubriremos que estas fuerzas son de tipo eléctrico, lo que nos obliga a realizar un rápido recorrido por la historia de esa disciplina.

2. En la segunda parte recorreremos rápidamente los puntos de la historia de la electricidad que son relevantes para construir la teoría molecular que explica las fuerzas de Van der Waals, responsables de los fenómenos que se han investigado. La razón de seguir este camino es el de conseguir que los docentes se den cuenta de la diferencia que existe entre una simple enumeración histórica de los hechos y una interpretación constructivista de la historia de la ciencia.
 3. La tercera parte de esta guía mostrará la forma en que maestros de distintos países han trabajado en sus aulas este método de enseñar ciencia, tras recibir la formación necesaria.
- En resumen, la intención de esta guía es que sea un instrumento útil para que cualquier profesor de estas etapas educativas lleve la ciencia a su aula.



Socios del proyecto SciLit Erasmus+.

PRIMERA PARTE

**DESCRIPCIÓN CIENTÍFICA
DE LA GUÍA**



I. PRIMERA PARTE: LAS FUERZAS INTERMOLECULARES

La mayoría de los fenómenos, transformaciones, comportamiento de los materiales, etc., que forman parte de la vida cotidiana del alumnado se deben a los efectos de fuerzas intermoleculares, cuya naturaleza es, como veremos, eléctrica.

Para entender estas fuerzas hemos elaborado un recorrido didáctico que parte de la observación de las propiedades elásticas y adherentes del agua en contacto con superficies sólidas. Apoyándonos en los resultados experimentales que hemos obtenido y en la existencia de tres estados de la materia, sólido, líquido y gas, intentaremos imaginar un modelo de sustancia que explique la razón por la que la misma sustancia se presente bajo tres formas con propiedades físicas tan diferentes. Para descubrirlo elegimos el agua como caso de estudio, ya que es la única sustancia fácil de encontrar y que se presenta a temperatura ambiente en los tres estados.

1.1. SITUACIONES COTIDIANAS

Es evidente que el primer paso en el planteamiento de un proyecto de investigación de este nivel es la observación de los fenómenos naturales. Partiendo de ese punto, nos fijaremos en los innumerables ejemplos de formación de gotas que se pueden encontrar tanto en el aula como en nuestro entorno (Figuras 1 y 2). Pediremos a los alumnos y alumnas que describan y dibujen en sus cuadernos de laboratorio los fenómenos que puedan relacionarse con las gotas de agua, añadiendo los comentarios y señalando los hechos que consideren más interesantes.



Figura 1. Gotas de agua.



Figura 2. Gotas de agua en un grifo.

Tomando como base las anotaciones de los cuadernos, nos reuniremos en asamblea para que cada uno de los alumnos y alumnas nos explique, con sus propias palabras, lo que ha representado por medio de dibujos. Estas conversaciones proporcionan información sobre los conceptos que manejan, los preconceptos que tienen y el centro de interés de su forma de percibir el mundo.

Los conceptos relevantes en las observaciones a que nos referimos son: la tendencia a adherirse el agua a los sólidos con los que está en contacto, la resistencia que presentan las gotas a dividirse, la forma que adquiere y la importancia del peso de la gota en los procesos en los que ésta se desprende.

1.2. EXPERIMENTACIÓN

Una vez que hemos estudiado a fondo los fenómenos naturales, los científicos inventan experimentos, que realizan en sus laboratorios, para estudiar en profundidad el fenómeno que les interesa. Para ello, deben eliminar los elementos no esenciales del proceso y utilizar aparatos que les permitan modificar a voluntad los parámetros que deseen.

El primer experimento que llevaremos a cabo consiste en estudiar lo que ocurre cuando mantenemos una pequeña cantidad de agua entre los dedos índice y pulgar de la mano (Figura 3). Esto nos permite *sentir* el comportamiento elástico del agua, poniendo en oposición la tendencia a adherirse a los dedos y la propensión del agua a permanecer unida, sin dividirse en dos partes. A la primera propiedad la llamaremos adherencia y a la segunda, cohesión.

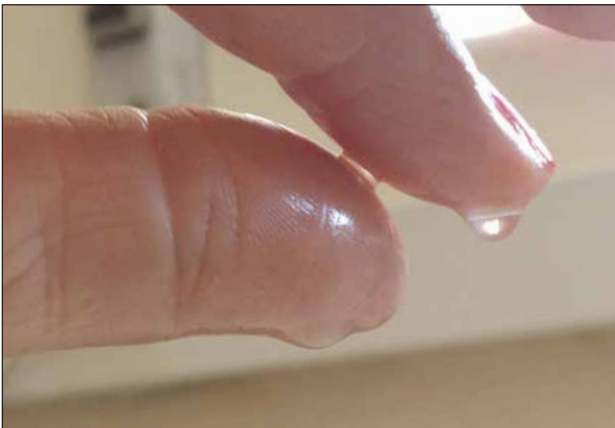


Figura 3. Pequeña cantidad de agua entre los dedos índice y pulgar.

La pregunta que inmediatamente se nos ocurre es si estas tendencias dependerán de la naturaleza del líquido y del sólido con el que está en contacto. Los alumnos y alumnas nos sugerirán rápidamente, dependiendo de la edad, los experimentos apropiados: usar guantes de diversos materiales no absorbentes y utilizar líquidos dis-

tintos, como aceite, agua con sal, líquido lavavajillas, etc. (nunca inflamables, por supuesto).

A continuación, podemos estudiar a cámara lenta el proceso de formación de gotas, utilizando un cuentagotas o jeringuillas de plástico sin aguja (Figura 4). Si lo utilizamos con una cierta pericia, podemos determinar el momento en el que la gota se desprende y, si utilizamos los líquidos que usamos en el experimento anterior, tendremos una idea más exacta de su importancia en el proceso.

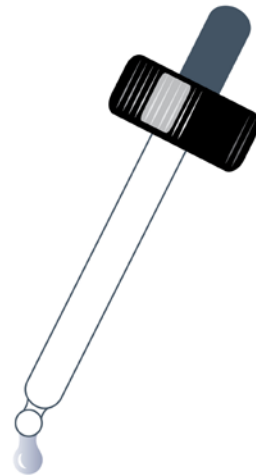


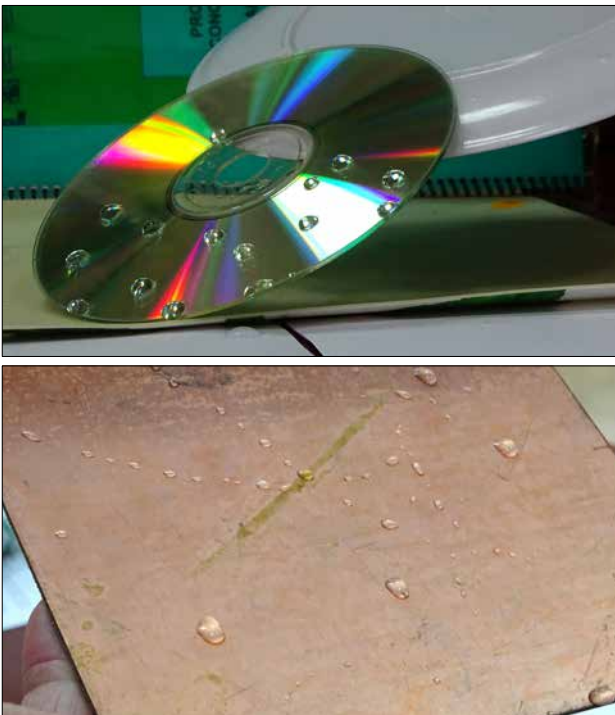
Figura 4. Cuentagotas.

¿Por qué diferentes jeringuillas o cuentagotas dan lugar a gotas de mayor o menor tamaño? Para determinar cuantitativamente el tamaño de las gotas podemos pesar o medir el volumen de una cantidad suficientemente elevada de ellas (doscientas, por ejemplo).

Para arrinconar aún más a la naturaleza y obligarla a desvelar sus secretos, podemos construir planos inclinados de diferentes materiales y determinar el ángulo de inclinación con el que se inicia el deslizamiento de la gota hacia abajo.

Es muy interesante repetir estos experimentos utilizando superficies de papel de aluminio o de polietileno transparente, papel encerado o acei-

tado, etc., donde pondremos de manifiesto la importancia de la naturaleza del líquido y de la superficie sólida sobre la que se desliza (Figuras 5 y 6). Debemos estudiar estos procesos y anotar cuidadosamente el resultado en nuestros cuadernos.



Figuras 5 y 6. Gota sobre distintos materiales con distinto grado de inclinación.

Una pregunta muy apropiada para discutir en clase es si el ángulo en el que comienza el deslizamiento depende del tamaño de la gota o es independiente del mismo. Es un punto importante y para hallar su respuesta tendremos que realizar una serie de experimentos distintos, utilizando lo aprendido en el proceso de formación de gotas en jeringuillas. Siempre podemos situar sobre el plano horizontal una gota formada a partir de dos gotas o incluso tres de un determinado cuentagotas, ya que por cohesión tienden siempre a unirse en una sola gota. Esta observación debe ir dirigida a estudiantes de Primaria que ya hayan trabajado el concepto de ángulo.

1.3. INTERMEDIO PARA INTRODUCIR EL CONCEPTO DE FUERZA

Para poder entender los fenómenos que tienen lugar entre líquidos y sólidos es imprescindible utilizar el concepto de fuerza. Contra lo que se pudiera pensar a primera vista, el concepto de fuerza corresponde a una abstracción de un nivel más elevado que el de los conceptos que estamos utilizando.

Ya sabemos que definir un concepto es una tarea prácticamente imposible. Los conceptos se forman en la mente por un proceso no muy bien conocido llamado conceptualización, para el que los seres humanos estamos especialmente preparados. Cuando aprendemos a hablar lo que hacemos es unir un concepto (perro, gato, persona, hermano, llevar, traer, bonito, feo, etc.) a una palabra, de manera que al oír o leer la palabra evocamos en nuestra mente el concepto asociado. La asociación de sonido o palabra escrita (o de cualquier tipo de símbolo) al concepto es lo que llamamos significado (Figura 7).

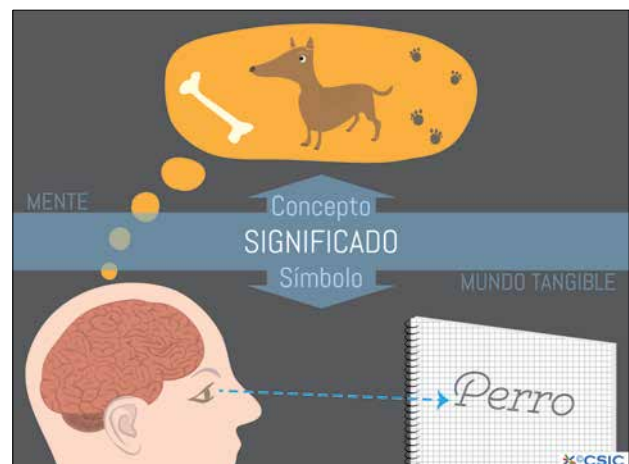


Figura 7. Significado.

Para comenzar a conceptualizar la acepción fuerza en física, podemos decir que es cualquier acción de empujar o tirar que realizamos sobre

un objeto por la acción de otro objeto (Figura 8). En este caso decimos que los dos objetos están interactuando (existe una acción entre ellos).

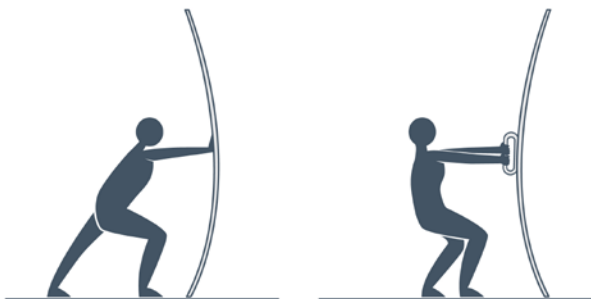


Figura 8. Ejemplos de fuerza como acción de empujar y de tirar.

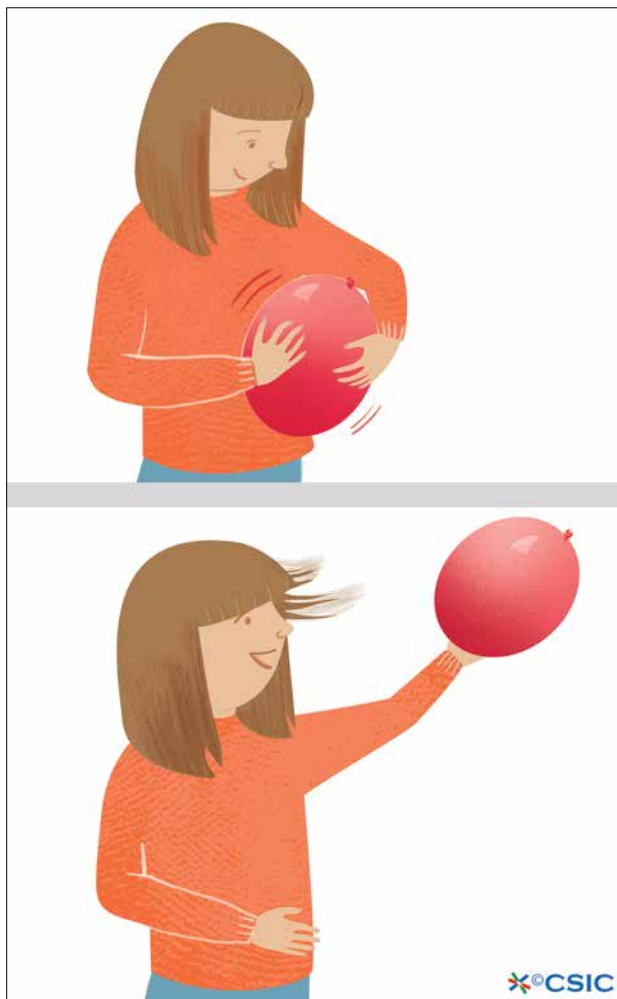


Figura 9. Fuerza electroestática tras frotar un globo.

Existen distintos tipos de fuerzas, las que requieren que los objetos estén en contacto, como las representadas en la ilustración, y las que actúan a distancia (sin necesidad de que haya contacto físico), como las magnéticas, las eléctricas o las gravitatorias, que el alumnado debe conocer. En caso contrario es el momento de que los alumnos y alumnas jueguen con imanes, con pajitas y globos frotados con servilletas de papel o levantando pesos del suelo (Figura 9).

Siempre que una fuerza actúa sobre un objeto, produce movimiento o deformación. Si damos una patada a un balón, éste se mueve como resultado de la fuerza que el zapato ha ejercido sobre él durante el tiempo que han estado en contacto. En cambio, cuando estiramos un muelle o comprimimos una pelota, producimos la deformación de los objetos. Cuando un objeto elástico, como el arco, se deforma, produce una fuerza elástica (Figura 10).



Figura 10. Fuerza elástica en un arco tensado.

Se cree que Leonardo da Vinci fue el primero en representar el concepto de fuerza por medio de una *flecha* cuya longitud era proporcional a su magnitud y su dirección y sentido correspondía

con la dirección y sentido de la fuerza¹.

Para asimilar estos nuevos conceptos realizaremos un sencillo experimento que todos los alumnos y alumnas deben realizar.



Figura 11. ¿Cuántas fuerzas actúan en este experimento?

En este ejemplo podemos identificar varias fuerzas (Figura 11). La que el imán ejerce sobre el clip, de naturaleza magnética y a distancia. Su dirección es la de la recta que une el polo del imán al clip, y su sentido es el que va del clip al imán. El peso del clip es otra fuerza que actúa en la dirección vertical y con sentido hacia la superficie de la Tierra, igualmente a distancia. También actúa la fuerza elástica del hilo, que al deformarse (estirándose) ejerce una fuerza cuya dirección es la del hilo y el sentido hacia el punto en el que el hilo está sujeto a la mesa y que es del tipo de contacto. Existen otras muchas fuerzas en el montaje experimental, pero nosotros solo consideraremos las que hemos citado. Así pues, sobre el clip actúan tres fuerzas, de distinto origen y tipo. Pero el hecho de que éste se encuentre en reposo indica que las tres fuerzas se pueden sumar (su naturaleza es la misma) y que su resultante es nula.

[1] En el Codex Arundel hay varias ilustraciones que representan la ley de composición de fuerzas.

De este experimento hemos aprendido que las fuerzas tienen lugar entre dos cuerpos, ya sea por contacto o por una acción a distancia. Que cuando un cuerpo está en reposo es porque no existe ninguna fuerza aplicada sobre él, o porque la suma de las fuerzas aplicadas es nula. Con este nuevo concepto podemos describir las situaciones experimentales con más facilidad.

El proceso de formación de una gota

Si observamos atentamente las fases de formación de una gota (Figura 12) veremos que, por un lado, actúa el peso de la gota (una fuerza vertical y hacia abajo), que tiende a desprenderla de la boquilla del cuentagotas y, por otro, la fuerza que la mantiene adherida a la citada boquilla (fuerza de adherencia, vertical y hacia arriba). En el momento en que el peso supere a la fuerza de adherencia la gota se desprenderá del cuentagotas. Si realizamos experimentos con cuentagotas de diferentes diámetros de boca, pesando un número elevado de gotas, veríamos que el peso de cada una de ellas es, muy aproximadamente, proporcional al diámetro de la boquilla.



Figura 12. Formación de una gota: observamos las fuerzas de adherencia y cohesión.

Una vez identificada la fuerza de adherencia, podemos preguntarnos por qué no se rompe la gota en miles de gotitas más pequeñas, en lugar de permanecer en forma más o menos esférica, del mayor tamaño posible, manteniéndose así el agua de una forma cohesionada.

Inventando un modelo de gota

Con objeto de entender el mecanismo de formación de gotas, podemos imaginar que el agua presenta una especie de *piel*, ligeramente pegajosa (para dar cuenta de la adherencia), que siempre la rodea y que es la responsable de la formación de gotas en el extremo de una pajita de refresco, de un grifo o en una tela de araña (Figura 13).

Esta *piel* rodea al resto del líquido y le dota de las propiedades observadas (Figura 14). Además, la piel a la que nos estamos refiriendo



Figura 13. Gotas adheridas a una tela de araña.



Figura 14. Una buena analogía de la *piel* de una gota de agua sería la goma de un globo lleno de agua.

también se adhiere a los objetos sólidos que se encuentran en contacto con el líquido, como a la boca del grifo, y sólo se desprende cuando se cumple la condición de que el peso sea superior a la fuerza de adherencia, que depende de lo pegajosa que sea la *piel*.

Si realizamos de nuevo el experimento de la gota entre pulgar e índice (Figura 3), podemos describir el proceso de ruptura de la gota como la ruptura de la piel elástica. Como el resultado es la formación de dos gotas más pequeñas, adherida cada una a la piel de un dedo, debemos concluir que la fuerza de adherencia entre agua y piel es mayor que la fuerza de cohesión, representada por la resistencia de la piel a romperse.

El modelo que hemos inventado pertenece a la clase de *modelos analógicos*, ya que hemos supuesto que lo que ocurre es *análogo* a lo que ocurriría si cualquier porción de agua estuviese recubierta por una piel elástica, como la de un globo, y corresponde a lo que Piaget llama *representación mental*. Como veremos, incluso un modelo tan sencillo como éste, inventado *ad hoc* para explicar lo que ocurre en la formación de una gota, puede extenderse a otras situaciones y servirnos para entender muchos otros procesos, indicándonos así lo acertado del mecanismo de construcción de modelos o representaciones para entender el mundo, es decir, como forma de conocimiento.

Extendiendo el modelo de piel elástica y pegajosa para explicar otras observaciones: proceso de asimilación

A continuación pondremos a prueba nuestro modelo de piel elástica y pegajosa en la formación de gotas para situaciones diferentes. La primera ocasión nos la da la observación de



Figura 15. Insecto apoyado en la superficie del agua.

algunos insectos que se apoyan o desplazan sobre la superficie del agua como si se tratara de la superficie de un sólido (Figura 15).

La primera pregunta que haremos a nuestros alumnos y alumnas se referirá al mecanismo por el que el insecto se mantiene sobre la superficie. La mayoría de ellos nos dirá que el insecto está flotando, ya que el modelo que tienen de las cosas que no se hunden cuando se hallan en la superficie de un líquido es de la flotación, incluso habrá quienes no tengan otro concepto que pueda explicarlo. Así pues, nuestra primera tarea será la de destruir el falso concepto de que todo lo que no se hunde es porque flota.

Para ello debemos recurrir a la experimentación y situar objetos de mayor densidad (Figura 16)



Figura 16. Clip de acero apoyado en una superficie de agua.

que el agua sobre su superficie, a la vez que otros de menor densidad.

Aunque esta operación nos puede parecer difícil, la podemos facilitar utilizando el truco que se indica a continuación (Figuras 17 y 18).



Figura 17. De esta manera podemos apoyar el clip en la superficie de agua utilizando otro clip como herramienta.



Figura 18. Estudiante realizando el experimento.

Los objetos que flotan son fáciles de identificar, ya que si se hunden con el dedo vuelven a la superficie. Además, todos presentan una parte por debajo de la superficie del agua (Figura 19), ya que el peso del agua del volumen sumergido es lo que le hace flotar.

En cambio, los objetos que no flotan, como el mosquito o el clip, no tienen ninguna parte sumergida, y si se hunden con el dedo no vuelve a salir a flote (Figura 20).

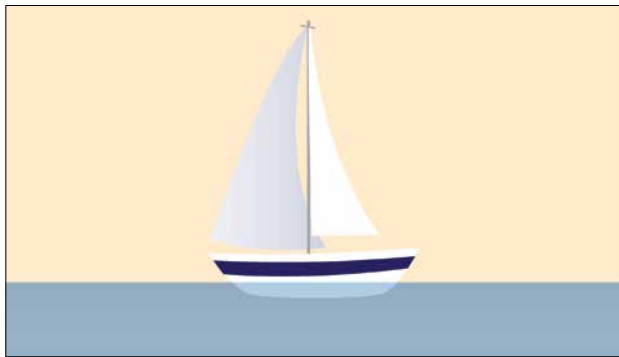


Figura 19. Barco que flota: parte de él está sumergido.

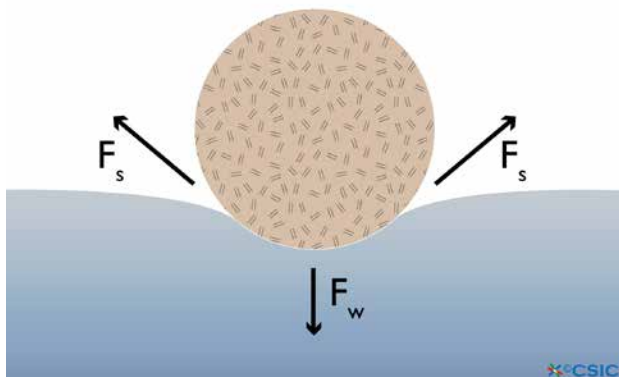


Figura 20. Este objeto no flota, está apoyado sobre el agua. F_w es el peso; F_s son las fuerzas debidas a la tensión superficial que equilibran el peso.

Si extendemos el modelo analógico en el que representamos una gota de agua por un globo lleno (Figura 14), la superficie de un vaso de agua se comportará como la goma de un globo, resistiéndose a ser rota por el peso del mosquito de la misma manera que una cama elástica mantiene el peso de una persona, con una pequeña deformación como la que se observa también en la superficie del agua (Figura 21).

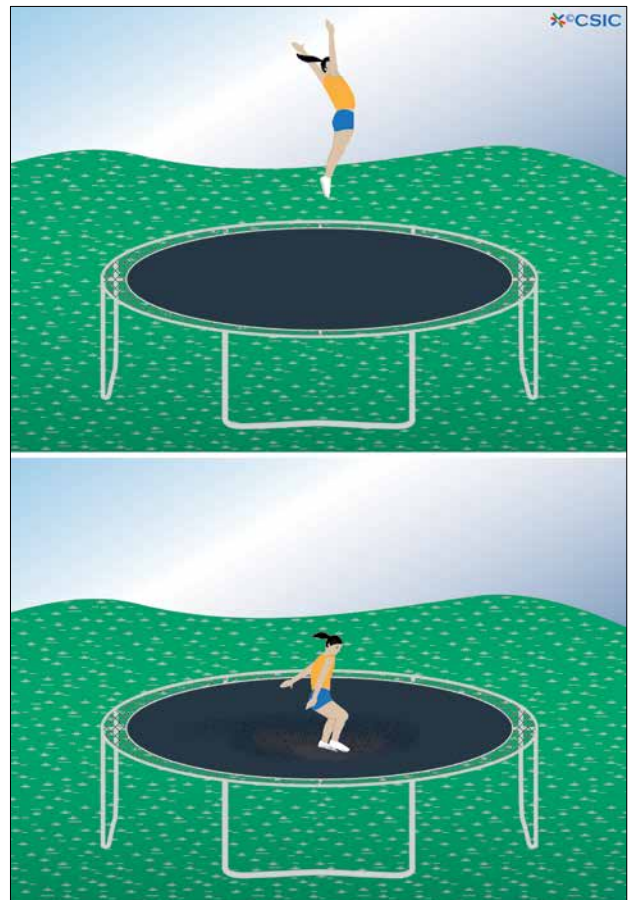


Figura 21. Modelo de la superficie del agua en analogía con una cama elástica.

Así pues, el modelo de piel elástica y pegajosa, inventado específicamente para explicar la formación de gotas ha superado su primera prueba.

Pero una representación, en el sentido de Piaget, o un modelo científico, siempre está sujeta a un ciclo de asimilación por medio de la constante confrontación con nuevas observaciones y resultados experimentales del mundo exterior².

[2] Piaget, J., 1929. *The child's conception of the world*. New Jersey: Littlefield, Adams.

1.4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE AGUA: CONOCIMIENTO Y COMPETENCIA

Los alumnos y alumnas deberán poder describir el modelo elaborado para representar los procesos de cohesión y adherencia en el caso del agua. Debe quedarnos claro que la descripción del *modelo resume el conocimiento adquirido*, que se complementa con la *competencia, que es la capacidad de aplicar este modelo para resolver problemas nuevos para ellos*.

La superficie de cualquier porción de agua se comporta como si fuese una lámina elástica y con propiedades adherentes que dependen de los materiales con los que esté en contacto.

La existencia de esa *piel* permite que pequeños insectos y objetos de poco peso se puedan mantener sobre el agua, aunque su densidad sea superior a la del líquido.

La elasticidad de la lámina superficial es la responsable de la cohesión y la capacidad de adherirse a otras sustancias es la que produce la adherencia.

La fuerza necesaria para romper la lámina superficial del agua es una medida de la elasticidad de la misma y la llamamos tensión superficial.

Recordemos que hemos tomado el agua como caso representativo de todas las sustancias. Por ello, *en principio* extenderemos este modelo a todos los líquidos que existen, siempre sometido a la correspondiente comprobación experimental.

Adquiramos la competencia necesaria en la utilización de nuestro modelo

El siguiente experimento que propondremos en nuestra aula es el del dedo mojado (Figura 22), pidiendo a nuestros alumnos y alumnas que expliquen la formación de la columna de líquido, utilizando los nuevos conceptos que hemos introducido. Como es fácil ver, se ha sustituido la fuerza vertical hacia abajo del clip por una fuerza vertical hacia arriba debida a la adherencia del agua a la piel del dedo. Así comprobaremos si realmente han adquirido la competencia necesaria para utilizar el modelo en la resolución de problemas.



Figura 22. Formación de una columna de líquido tras mojar la yema del dedo.

El siguiente experimento nos permitirá llevar a cabo una estimación semicuantitativa del valor de las fuerzas de adherencia. Consiste en tomar una moneda de un euro, limpiarla cuidadosamente con jabón y aclararla con agua. Después de secarla, utilizando una serie de cuentagotas iguales, nuestros alumnos y alumnas contarán el número de gotas que pueden depositarse sobre la moneda sin que el agua se salga y moje la mesa. Y, lo más importante, deben explicar el experimento (de tal manera que cualquiera que lo lea pueda

reproducirlo) y anotar cuidadosamente el valor del número de gotas (Figura 23).



Figura 23. Gotas sobre las monedas.

El resultado, antes de que el agua se derrame, es el siguiente, verdaderamente espectacular (Figura 24).



Figura 24. Sorprendente resultado del experimento.

Los alumnos y alumnas tendrán que explicar qué ocurre para que se forme un menisco tan exagerado sin que el agua se derrame, identificando las fuerzas que aparecen en el agua y entre la moneda y el agua.

Como hemos anunciado, este experimento da lugar a un resultado cuantitativo, el número de gotas. Por eso es el momento de preguntar: ¿De qué depende la magnitud de la fuerza de adherencia entre el agua y el material de la moneda? Probablemente nos contesten que tiene que depender de la naturaleza de

la superficie de la moneda. Una forma de comprobarlo es usar cera, de limpiar muebles, para cubrir la moneda frotándola hasta sacar brillo. Tras esa operación repetiremos el experimento, anotaremos el resultado y compararemos con el resultado obtenido con la superficie de la moneda limpia, intentando explicar los resultados. Evidentemente la piel del agua se adhiere con menos fuerza a la superficie de cera que a la superficie de la moneda limpia.

Y, ¿qué ocurrirá si cambiamos de líquido? ¿Tendrán todos los líquidos una piel de características similares? La única forma de averiguarlo es preparar un experimento que dé respuesta a nuestra pregunta. El más sencillo de todos consiste en utilizar otro líquido, aceite, por ejemplo, sobre una moneda limpia y determinar el número de gotas que son necesarias para que se vierta el aceite sobre la mesa. Discutamos el resultado en asamblea.

Existen multitud de experimentos, fáciles de realizar y de entender, utilizando los conceptos que hemos introducido y el modelo analógico de líquido que hemos inventado. Otro que podemos realizar en clase consiste en balancear una tarjeta de crédito sobre el borde de un vaso lleno de agua, a poder ser cuadrado, de manera que la parte interior de la tarjeta toque la superficie del líquido (Figura 25).



Figura 25. Adherencia entre el líquido (agua) y el plástico de la tarjeta.

A continuación, se van añadiendo fichas de parchís a la parte exterior de la tarjeta hasta que se rompa el contacto con el agua, tomando el número de fichas que hemos necesitado como una medida de la fuerza de adherencia entre el líquido y el plástico de la tarjeta. Aunque el método dista mucho de ser preciso (dado que no siempre se colocan las fichas a la misma distancia del borde del vaso, puede haber imprecisiones en la colocación de la tarjeta, etc.), el experimento constituye un primer contacto muy apropiado para conceptualizar el proceso de medida, sobre todo en las primeras etapas. Debemos prestar especial atención al proceso de ruptura de la superficie del agua, la piel del modelo analógico, e incluso (si es posible) obtener un video a cámara lenta donde se pueda observar la elasticidad de la superficie del líquido.

La espectacularidad de estos experimentos puede llevar a alguno de nuestros alumnos y alumnas a pensar que la *piel* que hemos introducido en la descripción de la gota o de la superficie del agua del vaso es real. Podemos demostrar la falsedad de esta idea diciéndoles que intenten encontrarla utilizando un palillo y moviéndolo por la superficie. Así llegarán a la conclusión de que *la capa superficial del agua se comporta como una piel elástica y pegajosa*, pero que no es en realidad, más que agua.

1.5. EL PASO DE UN CONCEPTO A UNA MAGNITUD: LA MEDIDA

Comenzaremos este apartado definiendo lo que es una magnitud, utilizando la definición más elemental que conocemos: *llamamos magnitud a todo lo que se puede medir, pesar o contar*. El precio de la fruta, la altura o el peso de una persona, etc., son magnitudes. Y si lo pensamos detenidamente llegamos a la conclusión que la elasticidad de la piel de un globo también

es una magnitud, pues es algo que podemos medir. Para nuestros propósitos será suficiente el determinar el límite de elasticidad o fuerza necesaria para romperla. Para ello utilizaremos una *balanza de precisión*, fácil de construir y utilizar, para determinar aproximadamente el valor de la tensión superficial del agua (Figura 26).



Figura 26. Nuestra balanza de precisión.

Se puede construir a partir de un par de vasos de litro, unas pajitas de refresco, hilo de coser y un alfiler de cabeza grande. Añadiremos un tapón de botella y un vaso con el líquido del que queremos medir la tensión superficial, agua. La medida se puede realizar utilizando gotas de agua, granos de arroz, lentejas o cualquier cosa similar.

Una vez dispongamos de la balanza, emplearemos una variación del método de Du Noüy (1883-1947), modificado para hacerlo más sencillo. Consiste en colgar de uno de los brazos una longitud determinada de pajita de refresco, como se indica en la ilustración. Para equilibrar la balanza utilizaremos un poco de plastilina, añadido al brazo que lo necesite.

A continuación, introducimos la pajita en el vaso con agua, de manera que permanezca mojada y con los brazos de balanza en horizontal. El proceso de medida consistirá en añadir, muy despacio, granos de arroz o gotas de agua hasta que la pajita en contacto con

la superficie del agua se desprege de esta. El número de granos de arroz o gotas de agua (que supondremos proporcional al peso) nos dará una idea de la magnitud de la tensión superficial. Si realizamos este experimento con diferentes longitudes de pajitas, pero del mismo material, veremos que la fuerza necesaria para romper la tensión superficial es proporcional al doble de su longitud. Esto es lógico, ya que la piel que se rompe es la que corresponde a la que se forma ambos lados de la pajita.

Igualmente podemos utilizar un disco compacto al que le hayamos unido un asa por medio de pegamento epoxi. Si extendemos agua por la superficie de una mesa y presionamos con un trozo de vidrio sobre ella veremos que las fuerzas de cohesión lo mantienen unido sólidamente, de manera que podemos determinar la fuerza necesaria para desprenderlo utilizando un dinamómetro (Figura 27).



Figura 27. Fuerzas de adhesión entre el agua y el CD y entre el agua y la mesa.

En el caso de utilizar, por ejemplo, un aro cuadrado de vidrio de 5 x 5 centímetros. La medida de la tensión superficial, cuya unidad es newton por metro (N/m), resultará de dividir la fuerza que nos indique el dinamómetro en el momento de desprenderse el vidrio por el doble del perímetro del cuadrado, 40 centímetros. El proceso es fácil de imaginar (Figura 28).



Figura 28. Midiendo las fuerzas de adhesión con un dinamómetro.

1.6. LAS LIMITACIONES DEL MODELO DE PIEL

El modelo analógico que hemos inventado es apropiado para describir las propiedades macroscópicas (comportamiento mecánico) del agua. Se basa en el especial comportamiento de la capa superficial del agua, lo que sugiere inmediatamente la siguiente pregunta, sugerida por las propiedades del modelo:

¿Por qué la superficie de cualquier porción de agua se comporta como si fuese una lámina elástica, con propiedades adherentes?

Nuestros alumnos y alumnas se tienen que dar cuenta de que la explicación al comportamiento de la capa exterior de los líquidos la debemos buscar, o inventar, fuera del modelo, ya que éste no puede dar razón de su propio comportamiento. De esta manera el conocimiento científico se construye como las capas de una cebolla, en la que las internas dan razón del comportamiento

de las más externas.

Para indagar en la composición del agua podemos fijarnos en los procesos en los que es sometido a cambios más severos, como es el caso de los cambios de estado. En estos procesos el agua cambia de propiedades y de aspecto, pero sigue siendo agua, y deben ser conocidos por nuestros alumnos: evaporación y condensación, fusión y solidificación.

Para comenzar bastará con que observemos el proceso que tiene lugar en la ropa tendida, que en muy poco tiempo queda completamente seca (Figura 29). ¿Dónde ha ido el agua y en qué forma? Esta es una pregunta muy apropiada para discutir en asamblea, tomando buena nota de las respuestas de los alumnos. A la vez nos permite mostrar nuestras habilidades utilizando el método socrático para dirigir la discusión que nos llevará a la conclusión de que el agua ha pasado, necesariamente, de la tela al aire, bajo alguna forma invisible para nuestros ojos.



Figura 29. Atendamos al proceso (evaporación) que tiene lugar cuando tendemos la ropa.

Lo primero que debemos comprobar es que el agua se encuentra realmente en el aire. Para ello realizaremos un experimento destinado a rescatarla y volverla al estado líquido, es decir,

condensándola. Tras una pequeña discusión en la asamblea, colocaremos una lata de refresco a temperatura suficientemente baja (inferior al punto de condensación), secaremos su superficie con una servilleta, la colocaremos sobre un plato de papel igualmente seco y observaremos atentamente lo que ocurre. Ante nuestros ojos se irán formando gotas de agua sobre la superficie de la lata, en un proceso inverso al que tenía lugar cuando se secaba la ropa (Figura 30).



Figura 30. Pequeñas gotas de agua se condensan en la superficie de una lata de refresco frío.

Podemos realizar los dos experimentos simultáneamente, incluso dentro de un frasco de vidrio suficientemente grande, de los que se emplean para vender alimentos en los supermercados. No hay duda, el agua se encuentra, con toda seguridad, en el aire en una forma en la que no podemos verla, pero podemos manejarla a nuestro antojo. Este será, para algunos de nuestros alumnos y alumnas,

la primera vez que se enfrentan a un mundo que existe fuera del alcance de nuestros sentidos. Es el momento de abrirles los ojos y explicarles que la mayor parte del mundo que existe, no lo podemos ver, pero podemos imaginarlo e, incluso, manipularlo a nuestro antojo.

Es fácil llegar a la hipótesis de que el agua que se encuentra en la atmósfera y que es invisible tiene necesariamente que estar en forma de partículas de un tamaño suficientemente pequeño para que sean invisibles a nuestros ojos. Pero, además, deben ser de agua, ya que los podemos volver a convertir a la forma líquida sin más que enfriarlas. A estas partículas las llamaremos, de acuerdo con los que han investigado este tema antes que nosotros, moléculas.

A esta representación mental en la que el agua está formada por moléculas se la llama modelo molecular, a la espera de dotarla de leyes que marquen el comportamiento de las citadas moléculas, para convertirse en una teoría (teoría= modelo + leyes).

La diferencia entre teoría y modelo no es, ni mucho menos, tan clara como se desprende de los trabajos de los filósofos de la ciencia o de los especialistas en enseñanza. En realidad, los científicos no suelen distinguir entre ambos términos, pues siempre que aparece uno de estos términos lo hace en un contexto concreto en el que el modelo o teoría es conocido, no pareciendo ninguna ambigüedad. En cambio, cuando se habla de modelo o teoría de forma abstracta es cuando surge la cuestión de la identidad de uno u otro concepto.

Podemos decir que no existe ningún modelo que no presente alguna característica de teoría ni ninguna teoría que no sea susceptible de ser complementada por un modelo. Por esa razón,

y sobre todo en el nivel en que nos movemos, podemos continuar utilizando el término más utilizado en cada caso, siempre que quede claro el modelo o teoría al que nos estamos refiriendo.

Llegados a este punto debemos hacer converger los dos modelos. Por un lado, el comportamiento elástico de la superficie del agua; por otro, el modelo molecular. Entre estas moléculas deben actuar una serie de fuerzas que expliquen la aparición de cohesión, adherencia y tensión superficial, cuyas características podemos intuir, pero cuya naturaleza debemos descubrir. Además de explicar los cambios de estado, para lo cual han sido *inventadas*.

En principio podemos modelizar las moléculas como bolitas esféricas (Figura 31). Así describiremos la hipótesis molecular por medio de un modelo sencillo que, por supuesto, deberemos poner a prueba (enfrentándolo a los hechos, los resultados experimentales).

Veamos si la hipótesis del modelo molecular nos permite explicar la existencia de los tres estados y las fuerzas de cohesión y adherencia.

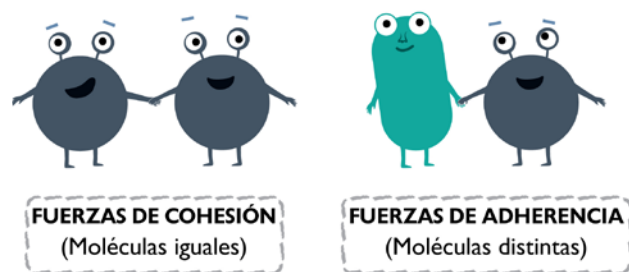


Figura 31. Nuestra propuesta de modelo de moléculas. En el caso de la cohesión (izquierda) y la adherencia (derecha).

En el modelo molecular, el gas está compuesto por moléculas que se mueven rápidamente y que tienen que rebotar elásticamente al chocar con las paredes del recipiente que las contiene. Como hemos adelantado, al asociar un comportamiento regido por leyes a las moléculas que componen el modelo, estamos construyendo una teoría.

Cuando chocan dos moléculas una con otra, su choque también debe ser elástico, ya que de otra manera todos los gases se convertirían en líquidos al pasar el tiempo, debido a la pérdida de velocidad de sus moléculas. Así, la teoría molecular explica que un gas ocupa completamente el volumen que lo contiene.

También es fácil imaginar el estado líquido con este modelo. El agua líquida está formada por moléculas que están en contacto entre sí, pero pueden “rodar” unas sobre otras. Podemos utilizar un modelo analógico llenando un vaso con canicas. Su volumen es constante y se amolda a la forma de cualquier recipiente, tal como lo haría un líquido.

El caso del estado sólido también puede entenderse con este modelo. En el hielo las moléculas se encuentran sólidamente unidas entre sí, de manera que tanto la forma como el volumen se conservan.

Una vez elegida la teoría molecular de esferas elásticas, llevaremos a cabo nuevos experimentos con el agua e intentaremos explicar sus resultados con esta teoría. Estos ejercicios pertenecen al ciclo de asimilación piagetiano³.

1.7. CONSIDERACIONES SOBRE HIPÓTESIS, MODELOS Y TEORÍAS

Si meditamos sobre el camino mental recorrido veremos que la hipótesis que hemos elaborado es la composición del agua por partículas submicroscópicas.

Una hipótesis es una suposición creativa, elaborada con la intención de que explique el comportamiento que se deduce de observaciones y experimentos. Así, la hipótesis molecular, en el caso del agua, responde al hecho de que el vapor de agua y el agua líquida se transforman una en otra, lo que obliga a pensar que son la misma cosa. Además, también explica el que en estado gaseoso no lo podamos ver y en el estado líquido sea visible. Y, por último, explica la mayor densidad del líquido frente al sólido.

Esta hipótesis molecular lleva aparejado un modelo: el de moléculas esféricas. Llamamos modelo, en el nivel en el que nos encontramos, a cualquier *representación mental de un sistema físico en la que se describa su composición por medio de iconos o símbolos*.

Cuando los elementos del modelo obedecen las leyes de una disciplina, formamos una teoría. Así, *la teoría molecular de la materia está formada por la asociación del modelo molecular (moléculas esféricas) con el comportamiento de las mismas de acuerdo con las leyes de la mecánica clásica*.

1.8. LA NATURALEZA DE LAS FUERZAS INTERMOLECULARES

Si extendemos la teoría molecular al caso que nos ocupa, es evidente que el fenómeno de la cohesión tiene que tener su origen en fuerzas entre moléculas de agua, y el fenómeno de

[3] Piaget, J., 1983. Piaget's theory. In: P. Mussen, ed. *Handbook of Child Psychology*. 4th edition, Vol. 1. New York: Wiley.

adherencia se tiene que deber a fuerzas de atracción entre moléculas de agua y moléculas de los sólidos con los que está en contacto (Figura 32).



Figura 32. Cohesión entre las moléculas de agua, adherencia entre las moléculas de agua y las de la moneda.

Podemos cambiar el modelo de moléculas esféricas que hemos sugerido por el modelo analógico de alumnos y alumnas. En este caso las fuerzas de cohesión son las fuerzas con que se agarran unos a otros y las de adherencia las que aparecen entre la mesa (que representa la moneda) y los alumnos y alumnas, ejercidos por el rozamiento de las suelas de los zapatos (Figura 33).



Figura 33. Dramatización del modelo de moléculas y de las fuerzas de adhesión y cohesión.

Es un modelo que todos entienden muy bien, como podemos comprobar por las descripciones que realizan utilizando los símbolos correspondientes.

Como vemos, no es demasiado importante el modelo que utilizemos. Lo importante es entender el significado de la representación.

El hecho de dotar al modelo molecular de fuerzas intermoleculares requiere reflexión. Estas fuerzas deberían ser de algún tipo conocido y estudiado, de manera que podamos aplicar las leyes correspondientes a los elementos del modelo, es decir, a las moléculas. A este nivel y en esta escala conocemos tres tipos de fuerzas fundamentales: la gravitatoria, la magnética y la eléctrica. Pasemos revista a estas interacciones para descubrir cuál de ellas es la responsable de la cohesión y la adherencia.

La fuerza gravitatoria requiere grandes masas para que sea efectiva. Es el caso de las atracciones entre el sol y los planetas, o entre galaxias. Es evidente que la gravitación no puede ser la responsable de las fuerzas intermoleculares, ya que sus masas son muy pequeñas. La fuerza magnética o la eléctrica podrían ser las que originasen la cohesión y adherencia, ya que son suficientemente fuertes para explicar estos fenómenos. Debemos diseñar algún experimento que nos ayude a discernir entre ellas.

Si la fuerza entre moléculas es magnética, las moléculas de agua deben presentar algún tipo de dipolo magnético y serán sensibles al campo de un imán potente. Para ver si es este el caso podemos acercar un imán de neodimio a un chorro de agua, fino como un hilo, que salga de un grifo casi cerrado (Figura 34).

El resultado es, como todos sabemos, negativo.



Figura 34. La fuerza entre las moléculas de agua no es magnética.

Por muy potente que sea el imán y muy delgado el chorro de agua, éste no se desvía. En realidad, podíamos haber previsto este resultado. De haber ocurrido lo contrario, nosotros, que estamos compuestos por agua en un tanto por ciento muy elevado, seríamos atraídos por los imanes, cosa que no ocurre.

Probemos ahora acercando un globo electrizado tras frotarlo con una servilleta de papel. Esta vez el resultado es positivo: las cargas eléctricas del globo ejercen una fuerza de atracción sobre el agua del chorro produciendo su desviación (Figura 35), lo que nos indica que las moléculas de agua se polarizan por la presencia del globo o, si son polares, se orientan.



Figura 35. Un globo electrizado atrae a un fino chorro de agua.

Basados en el resultado de estos experimentos podemos lanzar la hipótesis de que las moléculas de agua poseen cargas eléctricas y que las fuerzas que aparecen entre ellas (cohesión) o entre las moléculas de agua y las de otros materiales (adherencia) son de naturaleza eléctrica. Admitamos de momento esta hipótesis de trabajo.

Una vez elegidas las fuerzas eléctricas como responsables de las fuerzas intermoleculares, debemos desarrollar el modelo de molécula de agua. Pero para ello, antes tendremos que profundizar en el estudio de la electrostática, de manera que podamos aplicar sus leyes a los posibles modelos de molécula que propongamos, en nuestro intento de explicar la existencia de adherencia y cohesión.

2. SEGUNDA PARTE: UN RÁPIDO RECORRIDO POR LA HISTORIA DE LA ELECTROSTÁTICA

La historia de la ciencia, como cualquier historia referente a un tema concreto, está constituida por un conjunto de hechos ocurridos a lo largo de los años, ordenados cronológicamente, a manera de crónica. Pero, además, para que se considere historia la narración debe tener una estructura o, como indicaba Aristóteles, una *trama* compuesta por personajes, planteamiento, desarrollo con una parte conflictiva y conclusión o desenlace.

Chomsky postula que los niños y niñas nacen con la capacidad específica que les permite ser *competentes* en el lenguaje, es decir, poder entender y emitir oraciones que no han oído

antes⁴. De la misma manera parece evidente que igualmente poseen la capacidad innata de organizar los hechos temporales en forma de relatos en torno a una trama, así como de reconocer esta trama en las historias que escuchan. De hecho, cuando contamos a un niño o niña la primera parte de un cuento, se dan cuenta inmediatamente de que la trama no se ha completado.

Por esa razón, la historia de la ciencia destinada a ser contada a un público infantil debe presentar esa estructura aristotélica, de manera que los niños y niñas la puedan memorizar ayudados por la estructura interna que posee, la misma que los cuentos u otros relatos a los que están acostumbrados.

Por eso, el historiador lanza la hipótesis de que los hechos posteriores se deben de alguna manera a lo que ha ocurrido con anterioridad, suponiendo la existencia de una estructura lógica que *nos explique* por qué la historia ocurrió de una manera y no de otra. Se trata de obtener patrones de comportamiento (leyes), para lo cual los historiadores elaboran conceptos que ayuden a modelizar la historia, como pueden ser las clases sociales, las ideologías, los grandes protagonistas, la voluntad de los dioses o la lucha por sobrevivir. La existencia de esa estructura es la que hace de la historia, una ciencia.

En este rápido recorrido por la historia de la electrostática reduciremos nuestro relato a unos puntos que hemos considerado esenciales, definidos por sus protagonistas (tratados como *grandes científicos*) y de los que daremos las coordenadas básicas de lugar y tiempo en el que tuvieron lugar. Y para dotar de estructura

[4] Chomsky, N., 1990. On the nature, acquisition and use of language. In: W.G. Lycan, ed. 1990. *Mind and Cognition: A Reader*. Cambridge and London: Blackwell. Pp.627-45.

a este relato de hechos, utilizaremos la Teoría de Piaget, la única, a nuestro entender, que explica tanto la naturaleza del conocimiento como la forma en que se elabora. Esta teoría se ha mostrado útil no solo a nivel personal sino también en el estudio del conocimiento en las sociedades científicas (Kuhn) y en inteligencia artificial. Es evidente, que existen otros tipos de estructura que pueden aplicarse a la historia y cada uno de ellos define una teoría

2.1. EL NACIMIENTO DE UNA CIENCIA

Nuestro relato comienza en el siglo VII a.C., momento en el que situaremos el descubrimiento de la electrostática (su protagonista es Tales de Mileto), para terminar en el siglo XVIII, casi dos milenios y medio más tarde.

A lo largo de nuestra vida escolar, nos han presentado a los grandes pensadores del mundo clásico como filósofos puros, dando a esta palabra la acepción moderna, cuando en realidad su actitud y sus trabajos corresponden más a lo que en el presente entendemos por científicos. Aunque, en realidad, ambas características y actitudes del quehacer humano son imposibles de separar y siempre aparecen unidas, nos parece apropiado señalarlo, fundamentalmente para ayudar a deconstruir el ridículo antagonismo entre “ciencias” y “letras” que todavía encontramos en el mundo occidental⁵.

Podemos suponer que un día, limpiando con un paño un trozo de ámbar de gran belleza, observó que el hecho de frotarlo lo dotaba de la extraña propiedad de atraer pequeños objetos, de una manera similar a como la piedra imán

[5] Snow, C.P., 1956. The Two cultures. *The New Statesman*, [online] 2 Jan 2013. Disponible en: <<https://www.newstatesman.com/cultural-capital/2013/01/c-p-snow-two-cultures>>.

atraía objetos de hierro. Nuestros alumnos y alumnas deben repetir el experimento de Tales utilizando una pajita de refresco, o una barra de PVC, frotada con una servilleta de papel, comprobando que atrae a pedacitos de papel y pequeños objetos (Figura 36).



Figura 36. Atracción de pequeños trozos de papel por una barra de PVC frotada con una servilleta de papel.

A este fenómeno le pondremos un nombre (pues corresponde a un *concepto*), *electrización por frotamiento*; así nos podremos referir a él de una manera fácil y sencilla. Esta propiedad la presentan, además del ámbar, un extenso grupo de materiales que Tales llamó *electrizables*. Esto implica, como es evidente, la existencia de otra clase de materiales que no pueden ser electrizados por frotamiento, a los que llamaremos *materiales no electrizables*. Entre ellos el grupo más importante es el de los metales.

Para materializar nuestro recorrido por la historia, nuestros alumnos y alumnas deberán llevar a cabo experimentos encaminados a distinguir los objetos pertenecientes a ambos grupos. Para ello frotarán con servilletas de papel todo tipo de materiales a su alcance, comprobando si han adquirido la rara propiedad de atraer objetos pequeños. El resultado es de lo más interesante: los metales, utilizados en las redes eléctricas como conductores, no se pueden electrizar; en cambio los plásticos y otros

materiales que utilizamos para aislar los cables eléctricos son fácilmente electrizables. Y debemos señalar que siempre que existe una clasificación, sea esta de materiales o de comportamiento de seres vivos, debemos buscar la razón científica subyacente, señalándonos un camino a seguir en nuestra investigación.

2.2. LEUCIPO Y LAS RAZONES POR LAS QUE LA CIENCIA EXISTE

Unos doscientos años después de Tales vivió Leucipo (460 – 370 a.C.). Basándose, probablemente, en la forma en la que Tales presentó sus resultados, estableció los postulados básicos de la ciencia, todavía en vigor. Leucipo nació muy probablemente en Mileto, como Tales, y fue maestro de Demócrito. Este hecho es importante porque entre ambos inventaron el primer modelo atómico, una de cuyas modificaciones hemos utilizado nosotros para explicar el comportamiento del agua muchísimos siglos después. En realidad, como podemos ver en numerosos ejemplos, lo que más dura y persiste a través de los tiempos no son los edificios ni los monumentos, son las ideas.

Leucipo sabía que la ciencia es una construcción humana, y se planteó el problema fundamental de si las personas podrían adquirir algún conocimiento del mundo a través de la observación de los fenómenos naturales que les llegaban a través de sus sentidos. Y, como hacen los niños y niñas desde que nacen, se dio cuenta de que las cosas pasan siempre de la misma manera, permitiendo así que hagamos predicciones. Como era un griego del siglo V a. C, expresó este hecho diciendo que los dioses organizaban el mundo como los gobernantes organizan sus ciudades y naciones, por medio de leyes. Y definió las **leyes de la naturaleza** que descubren los científicos como enunciados que describen la forma en la que se comporta la naturaleza.

Y esta información es obtenida a partir de observaciones y resultados de experimentos.

Como Leucipo no realizó experimento alguno en sus investigaciones (era un filósofo de la ciencia), enunció sus conclusiones por medio de *postulados* —verdades tomadas como evidentes— imposibles de demostrar, que se toman como válidas en tanto no se encuentre ningún motivo para rechazarlas. Está claro que si aparece un solo resultado que los contradiga, el postulado deja de ser válido.

El primer postulado de Leucipo establece que los *dioses no juegan con nosotros a confundirnos. Por ello el comportamiento de las cosas no es caprichoso, sino que sigue unas leyes que siempre se respetan*. Los cuerpos, si los dejas en el aire, siempre caen; las burbujas de aire en el agua siempre suben, etc. Esta ley también puede enunciarse diciendo que *nada ocurre al azar y que a las mismas causas suceden los mismos efectos*.

Resumiendo: como todos los bebés, Leucipo llegó a la conclusión de que existen unas leyes de la naturaleza, fijas, que necesariamente se cumplen en todos los casos. Los niños, desde pocos meses, descubren que las cosas no desaparecen y juegan a descubrir dónde están los objetos que su madre esconde bajo un paño. Asimismo, investigan constantemente y ponen todo su entusiasmo en descubrir cómo suceden los fenómenos, seguros de que siempre ocurren de la misma manera. Esta seguridad en su capacidad de descubrirlas lo enuncia también Leucipo.

El segundo postulado de Leucipo establece que las personas somos capaces de *descubrir* y enunciar estas leyes de la naturaleza, aunque no describe ningún procedimiento o método que nos conduzca a su descubrimiento. Hasta pasado el Renacimiento no llegarán Galileo,

Kepler, Bacon, etc., para decirnos de qué forma se puede llegar a conocerlas (el primer método científico).

Es interesante profundizar un poco en la naturaleza de las leyes, tal como las concibió Leucipo, sobre todo porque su significado ha perdurado hasta la actualidad. Una ley de la naturaleza es, como hemos dicho, una descripción del comportamiento de la naturaleza que no hemos demostrado, sino inducido de nuestra experiencia (adivinando un comportamiento general a partir de unas pocas observaciones particulares). Esta forma de razonar, por inducción, es básica en la naturaleza humana y se detecta desde los primeros meses de nuestra existencia. Apenas los niños y las niñas observan que los objetos se caen si se les deja suspendidos en el aire, juegan a dejar caer sus juguetes con la seguridad de que todos ellos seguirán ese comportamiento. Y muy pronto aprecian los trucos de los magos como comportamientos extraordinarios, poniendo todo su empeño en descubrir la trampa.

Así, de la constatación de que frotando el ámbar se consigue electrizarlo, independientemente del lugar en que se realice el experimento (en tierra, en mitad del Mediterráneo, en las montañas o en la playa) o de quién lo lleve a cabo (hombre, mujer o niño), indujo o supuso que éste era un comportamiento general de la naturaleza, una ley. Pero como sólo lo había comprobado en un número ridículamente reducido de casos, no podía estar seguro de que, alguna vez, en algún lugar, esta ley dejase de cumplirse. Así, una ley es una descripción siempre provisional (como muy pronto veremos) de lo que creemos que es un comportamiento general de la naturaleza. Por ello debemos estar dispuestos a sustituirlo por otro principio más general. A lo largo de esta historia iremos viendo ejemplos que aclaran este procedimiento, que no es más que el esquema piagetiano de construc-

ción del conocimiento.

Otra consecuencia de los enunciados de Leucipo es que las leyes de la naturaleza son contrarias a la magia, ya que no requieren conocimientos secretos ni poderes especiales para que se cumplan, con lo cual separa la ciencia de la hechicería, brujería o encantamiento. Como vemos, Leucipo se ha ganado un puesto importante en la historia de la ciencia (¿o debiéramos decir de la filosofía?).

2.3. EL RENACER DEL MUNDO OCCIDENTAL

Durante 2200 interminables años, la historia de la ciencia se manifiesta como un país tranquilo en el que se conservan inalteradas las leyes de Tales de Mileto.

Pero en el siglo XV, debido a causas diversas y probablemente relacionadas con el *Renacimiento* (de las virtudes, los intereses y la herencia del mundo clásico), la sociedad desarrolló una actitud nueva frente al conocimiento: esa actitud daría lugar, muy pronto, a la Revolución Científica.

En nuestra opinión, una de las causas fue el redescubrimiento de los trabajos de los filósofos griegos por parte de los árabes. Estos manuscritos fueron traducidos al árabe y, a iniciativa de Alfonso X *El Sabio*, traducidos del árabe al latín en la Escuela de Traductores de Toledo. Estas traducciones fueron copiadas en innumerables conventos y las copias repartidas por toda Europa utilizando el camino de Santiago y el de Roma. De esta manera, el redescubrimiento del mundo clásico dio lugar al despertar intelectual que fue una de las causas del fenómeno del Renacimiento. Pero esto es sólo una teoría.

Con el descubrimiento de América la ciencia se convierte en un parámetro de producción, es decir, de importancia económica. Estamos en el siglo XVI. Para realizar los viajes de Europa a América, los capitanes de barco debían saber astronomía y tener conocimientos de magnetismo terrestre, para orientarse durante un viaje de unos 20 días de duración. La formación del capitán era fundamental para que la travesía fuese lo suficientemente corta, de manera que los marineros no enfermasen a causa del escorbuto y no se perdiese el barco y su cargamento. Por eso, el perfeccionamiento del modelo de Copérnico y los descubrimientos en magnetismo son de enorme importancia económica. Y por eso aparece en nuestra historia William Gilbert (1544-1603), médico real de la Reina Isabel I de Inglaterra, la Reina Virgen; en su honor se llamó Virginia al vasto territorio descubierto en América del Norte, que Inglaterra se anexionó.

Gilbert se aficionó a la física, y solía presentar a la reina —con la que probablemente asistía a los estrenos de las obras de Shakespeare— experimentos de magnetismo y electricidad, empleando el término *vis eléctrica*, para describir el extraño fluido que era responsable de los fenómenos eléctricos. Dado que la electricidad y el magnetismo eran fenómenos muy parecidos, Gilbert estudió ambos simultáneamente.

Como hemos dicho, los conocimientos de Tales de Mileto en electricidad llegaron a William Gilbert casi sin modificar.

- **Primera ley de Tales:** Cuando un cuerpo se frota (se electriza), atrae a los pequeños objetos que se encuentren en sus inmediaciones. Esta propiedad se pierde al pasar el tiempo.
- **Segunda ley de Tales:** Existen cuerpos que se electrizan por frotamiento y cuerpos que

no lo hacen (electrizables y no electrificables).

Hacia 1600, escribe un tratado en el que explica la diferencia entre magnetismo y electricidad, diferencia que puede comprobarse utilizando un sencillo instrumento de su invención al que llamó *versorium*. Nosotros lo podemos construir fácilmente en el aula, sin más que suspender por su centro de gravedad un trozo alargado de papel de aluminio, preferiblemente del que se emplea para fabricar moldes para horno, ya que la lámina es más gruesa (Figura 37).

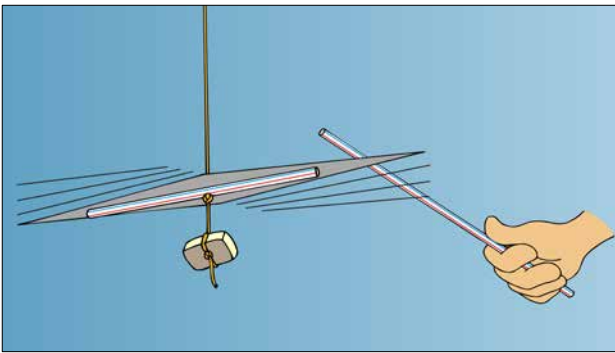


Figura 37. Podemos fabricar un *versorium* con materiales sencillos.

La descripción de su funcionamiento en el momento histórico en el que nos encontramos es el siguiente: un cuerpo frotado (cargado en lenguaje actual) atrae a cualquier cuerpo neutro (electrizable o no) que se encuentre en su alrededor, de acuerdo con la ley de Tales. En cambio, un imán sólo atrae a los objetos hechos de materiales magnéticos (en esa época, hierro y algunos de sus minerales). Y Gilbert, sumergido en un período histórico que quiere señalar la importancia de la herencia del mundo clásico, pone nombre a la nueva disciplina llamándola *electricidad*, derivado del nombre en griego del ámbar, *electrón*. De esta palabra se derivan electricidad y electrónica.

A pesar de la simplicidad, las leyes de Tales encontraron su camino hacia la aplicación práctica. A lo largo de la edad media era normal ver a las hilanderas manejar un uso cuya parte inferior terminaba en un trozo de ámbar al que hacían frotar con la falda mientras giraba. De esa manera se electrificaba y se podía utilizar para recoger la hebra de hilo del suelo, sin agacharse, cuando accidentalmente se rompía.

2.4. FRANCIS BACON INVENTA UN MÉTODO PARA HACER CIENCIA: SI ESTE MÉTODO SE SIGUE, ESTÁ GARANTIZADO QUE LO QUE SE OBTIENE ES VERDAD

Otro personaje influyente de esa época es Francis Bacon, Barón de Verulamio (1561-1626), que añadió un nuevo postulado a los propuestos por Leucipo dos milenios antes.

En 1620 publicó su obra *Novum Organum o Indicaciones relativas a la interpretación de la naturaleza*, en el que describía el método experimental que debía aplicarse a las ciencias, contraponiéndolo al *Organon* de Aristóteles (sólo bueno para discusiones entre colegas). Así, Bacon añadió un nuevo postulado a los de Leucipo, en el que explicaba el procedimiento para descubrir las leyes que rigen el mundo.

Nuevo postulado de Bacon: si quieres saber cómo se comporta la naturaleza, el único camino es el de preguntarla directamente, por medio de experimentos bien diseñados.

En otras palabras, sólo la naturaleza te puede decir cómo se comporta.

Se completan así los postulados de Leucipo, que nos decían que existían leyes que podíamos conocer, pero no indicaba el método que debíamos seguir para descubrirlas.

Y éste principio, unido a los dos de Leucipo, forma la base del conocimiento científico en el siglo XVII.

A continuación, tomaremos un atajo en el camino de la historia, que nos llevará directamente a la nueva representación buscada. Esta es la ventaja de contar una historia, un espacio virtual que sólo existe en nuestra mente y que nos permite desplazarnos hacia adelante y hacia atrás y pararnos en cualquier lugar y época. Es una de las herramientas más útiles del aprendizaje.

Este camino se compone de cuatro nudos importantes:

- El primero, situado en 1629, con el experimento de Cabeo.
- El segundo nudo tiene lugar en 1725, con los descubrimientos de Gray y Desaguliers, casi un siglo después.
- El tercero ocurre en 1733 con los trabajos de Dufay.
- El cuarto nudo corresponde a Benjamin Franklin, que propone la ley de conservación de cargas en 1747.

Primer nudo. El descubrimiento de las fuerzas de repulsión

Unos años después de la muerte de Gilbert, en 1620, el jesuita italiano Niccoló Cabeo (1586-1650) realiza experimentos de electrostática utilizando todo tipo de materiales. Los objetos neutros de material electrizable son atraídos por el ámbar y permanecen unidos a él (siguiendo el comportamiento descrito por las leyes de Tales). Pero se da cuenta de que los pequeños objetos metálicos se comportan de una manera completamente diferente. Tras ser atraídos por

el ámbar, al entrar en contacto con él son violentamente repelidos. Cabeo descubre así la *existencia de fuerzas eléctricas repulsivas*, que no estaban contempladas por las leyes de Tales de Mileto, vigentes durante nada menos que dos mil doscientos años. Nosotros podemos reproducirlo en el aula, utilizando trocitos de papel de aluminio; al acercar la barra de PVC frotada veremos que son atraídos primero y repelidos una vez que entran en contacto con la barra (Figura 38). También podemos realizar un experimento más espectacular utilizando una bolita de papel de aluminio o un clip suspendidos de un hilo. Al acercar la barra electrizada observaremos el acercamiento inicial y la repulsión posterior.



Figura 38. La barra de PVC electrificada atrae pequeños trozos de papel de aluminio y luego los repele.

El experimento de Cabeo debería ser realizado por todos y cada uno de los alumnos y alumnas, y ser descrito y representado en sus cuadernos. Estas anotaciones serán útiles cuando la historia de la ciencia nos lleve a un momento en el que podamos explicar lo que ocurre con el modelo apropiado, desconocido para Cabeo. De esa manera se darán cuenta de lo que representan los avances y descubrimientos científicos. Para la historia este proceso llevará unos cuarenta años, pero para nuestros alumnos apenas unos días.

Segundo nudo. Los descubrimientos de Gray y Desaguliers

Todos los materiales se pueden electrizar

El siguiente descubrimiento, que contradice las leyes de Tales, se debe a Stephen Gray (1666-1736). Gray nació el año del Gran Incendio de Londres (que coincidió con el final de la Gran Plaga) y tuvo la mala fortuna de situarse científicamente en el bando contrario al de Newton. En 1727, Gray se planteó la pregunta de por qué los metales eran repelidos por una barra electrizada, al contrario que los materiales no metálicos. Intrigado por el extraño comportamiento, descubierto por Cabeo, de estos materiales frente a la electricidad, Gray ideó y realizó multitud de experimentos. Descubrió que *los metales también se electrizan*, cuando se aíslan de la mano del experimentador con un material electrizable.

Nosotros podemos reproducir el experimento de Gray en el aula utilizando un tubo de cobre con un mango fabricado con una barra de PVC o de cualquier otro plástico. Veremos que cuando frotamos el tubo de cobre con una tela, preferiblemente impermeabilizada con teflón (como los manteles tratados de esta manera) el tubo de cobre queda electrizado igual que el de PVC.

Desaparece así la distinción entre materiales electrizables y no electrizables y se puede enunciar una segunda ley que sustituye a la antigua:

Segunda ley de Tales: Existen cuerpos que se electrizan por frotamiento y cuerpos que no lo hacen (electrizables y no electrizables).

Nuevo enunciado de la Segunda ley (de Gray): Todos los materiales se pueden electrizar por frotamiento.

Pero Gray sigue buscando alguna diferencia entre las dos antiguas clases de materiales, convencido de que el extraño comportamiento de los metales (cuando se tocan con la mano no se electrizan) tiene que deberse a alguna propiedad todavía desconocida.

Los metales conducen la electricidad y los aislantes no la conducen

Así, dos años más tarde, trabajando junto a su amigo y protector Jean Theophile Desaguliers (1683-1744), descubrió la propiedad oculta que distingue a los metales de los no metales: los metales conducen la electricidad, permitiendo que ésta se desplace de un punto a otro de los objetos metálicos.

Es fácil reproducir el experimento de Gray y Desaguliers en el aula. Para ello situaremos un tubo de cobre sobre un vaso de plástico, enfrentándolo a una bolita de papel de aluminio o un clip colgado de un hilo y muy próximo al tubo. En el momento que se toca con una barra de PVC electrizada el extremo del tubo de cobre más apartado del clip, éste lo atrae.

De esta manera se comprueba que la carga de la barra de PVC se transmite al extremo del tubo de metal y éste atrae el clip por inducción: el metal es conductor.

Y así, ambos investigadores establecen una nueva clasificación de los materiales, los *conductores* de la electricidad (que corresponden a los que Tales consideraba no electrizables) y los que no la conducen, llamados *aislantes* (que coinciden con los electrizables de Tales).

El cuerpo humano conduce la electricidad

Gray y Desaguliers continuaron realizando experimentos con los materiales que tenían a su alcance, para comprobar su ley recién descubierta. Entre otras pruebas intentaron electrizar sus dedos frotándolos con tela, lana, piel, etc., para ver si atraía a trocitos de papel y llegaron a la conclusión de que los dedos no podían electrizarse por frotamiento. Supusieron, acertadamente, que ocurría con el cuerpo humano lo mismo que con el tubo de cobre, que era conductor, por lo cual la carga generada por frotamiento se repartía por todo el cuerpo y pasaba a la Tierra a través de los pies o del calzado. Para comprobarlo aislaron a una persona suspendiéndolo por medio de cuerdas de seda muy seca, lo conectaron a una máquina electrostática y comprobaron que el cuerpo humano se quedaba cargado, manteniendo la carga como cualquier otro objeto (Figura 39).

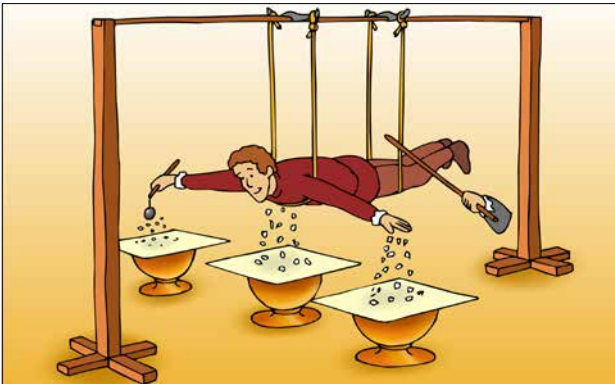


Figura 39. Tras conectar a una persona, aislada del suelo, a una máquina electrostática se comprueba que la persona se carga eléctricamente, atrayendo trocitos de papel.

Descubrieron así que el cuerpo humano es conductor, aunque no sea metálico. Otro misterio que debe ser investigado: la naturaleza de los cuerpos conductores no metálicos.

Con estos nuevos descubrimientos se entiende por qué Tales no podía electrizar un metal cuando lo sujetaba con las manos. Por mucha

electricidad que se generase por frotamiento, ésta era conducida al cuerpo humano, de donde era derivada a la tierra a través del calzado.

Una vez entendido esto se extendió por las ferias el juego del *beso eléctrico*: se aislaba a una muchacha por medio de hilos de seda y se la cargaba de electricidad como se ha descrito (Figura 40). Cuando daba un beso a una persona no aislada, parte de la carga eléctrica pasaba a tierra a través de su cuerpo, produciendo la sensación de *recibir un calambre*, tan característica⁶.

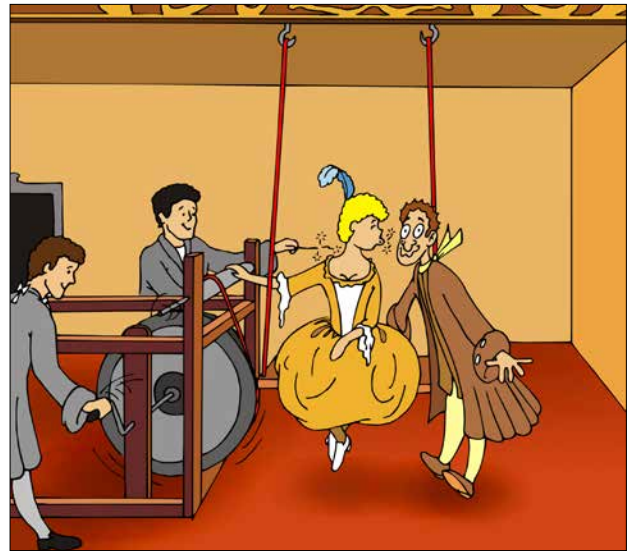


Figura 40. El beso eléctrico.

Tercer nudo. Debido a Dufay

Existen dos clases de electricidad

En 1733, tan solo cuatro años más tarde de los descubrimientos de Gray, Charles François Du Fay, o Dufay (1698-1739), realiza un descubrimiento crucial para el desarrollo de la electrostática: la existencia de dos tipos de electricidad

[6] López Sancho et. al., 2005. *Magnetismo en el Aula. Material didáctico para profesores de Educación Infantil y Primaria*. Madrid: Comunidad de Madrid. pp. 131-134.

a las que llamó vítrea y resinosa, ya que se obtenían frotando con un paño de seda un trozo de vidrio (que con la convención moderna adquiere carga positiva) o un trozo de ámbar o de cualquier tipo de sustancia resinosa (que adquiere carga negativa).

Es muy sencillo repetir alguno de los experimentos de Dufay en el aula, con elementos muy simples. Comencemos uniendo dos pajitas de refresco de distinto color (rojo y verde, por ejemplo) y suspendiéndolas por su unión de manera que queden equilibradas (Figura 41).



Figura 41. Montaje para las experiencias de Dufay.



Figura 42. Frotamos con una servilleta de papel la pajita amarilla.

En la primera parte del experimento frotamos con una servilleta de papel la pajita amarilla, teniendo cuidado de no tocar con las manos la parte de la servilleta que ha estado en contacto con la pajita (Figura 42).



Figura 43. La servilleta atrae a la pajita que ha frotado.

Si acercamos esta parte del papel a la pajita amarilla veremos que ambos elementos se atraen (Figura 43).

La segunda parte del experimento consiste en frotar con una nueva servilleta otra pajita de refresco amarilla. Es fácil comprobar que cuando se acercan ambas pajitas amarillas, se repelen (Figura 44).



Figura 44. Fuerza de repulsión entre las pajitas amarillas.

Dufay, cuya investigación estaba motivada por los trabajos de Gray y Desaguliers, interpretó los resultados de este experimento (u otros semejantes) suponiendo que cuando se frota la pajita de plástico con la servilleta de papel, el plástico adquiere carga negativa y el papel carga positiva. Inmediatamente nuestro investigador dedujo lo que estaba ocurriendo, que sintetizó

en lo que podríamos llamar la **ley de Dufay**: las **cargas de igual nombre o signo se repelen y las de distinto signo se atraen**.

La serie triboeléctrica

Tras realizar un gran número de ensayos, se llegó a la conclusión de que existe una tendencia natural a electrizarse cuando se frota dos cuerpos eléctricamente neutros (cargas positivas y negativas en la misma cantidad). Ambos se cargan, uno con carga positiva y el otro con carga negativa. Estudiando el tipo y la cantidad de carga que adquieren cuando se frota, se elaboró una lista ordenada de materiales llamada la *serie o tabla triboeléctrica*, que es de naturaleza empírica —es decir, basada únicamente en los resultados experimentales (Figura 45).

+ MAYOR CARGA POSITIVA
Piel humana
Vidrio
Nylon
Lana
Seda
Papel
Algodón
Caucho o goma dura
Polietileno
PVC
Teflón
Silicona
- MAYOR CARGA NEGATIVA

Figura 45. Serie triboeléctrica.

El orden de la tabla es tal que cuando se frota dos materiales de la serie, el que se encuentra en el lugar superior adquiere carga positiva y negativa el otro. Además, la cantidad de carga que adquieren con el mismo proceso de

frotamiento es proporcional a la distancia (en lugares) que separa a ambos materiales en la tabla. Así, si se frota una botella de vidrio con un paño de algodón se produce un paso de carga negativa del vidrio al algodón, quedando la botella cargada positivamente y el pañuelo, negativamente. Debe tenerse en cuenta que el lugar que un material ocupa en la serie no depende solamente de la composición del mismo sino también de las características de la superficie (pulida, con arañazos, etc.).

En los experimentos que hemos propuesto en el aula, papel y pajitas de plástico (PVC). Como se deduce de la tabla, el plástico queda cargado negativamente y el papel positivamente.

Cuarto nudo. La conservación de la carga de Benjamin Franklin

Pero todavía faltaba una pieza importante en el campo de la electricidad, para formar un cuerpo de conocimiento completo, y esta pieza la enuncia Benjamín Franklin (1706-1790) en una carta a su amigo Cadwallader Colden, científico y político como él, en junio de 1747. En esta carta le explica que la electricidad no es algo que se crea por fricción, sino un elemento, como el hidrógeno o el oxígeno, que existe en la naturaleza y que no se crea ni se destruye, sino que se transfiere de un cuerpo a otro.

En la actualidad el modelo de Franklin de un único fluido eléctrico se ha abandonado por erróneo, siendo sustituido por el modelo de dos cargas, que es el utilizado en nuestras descripciones. En lenguaje moderno podemos decir que existen dos cargas eléctricas, que continúan siendo las descubiertas por Dufay, positiva y negativa, y que existen exactamente en la misma cantidad en los cuerpos neutros. Además, al frotar dos materiales no electrizados, ambas cargas se redistribuyen pasando de un cuerpo a

otro y dejando uno de ellos con carga positiva y con negativa el otro.

La ley de conservación de la carga es imposible de comprobar en el aula, ya que no podemos realizar medidas cuantitativas. Como todas las leyes de conservación, proviene de una simetría⁷. Pero al nivel necesario en esta exposición lo podemos tomar como un postulado, deducido de la observación de que cuando frotamos dos cuerpos neutros, las cargas que adquieren son siempre de signos contrarios y es lógico suponer que la suma de ellas sigue siendo cero.

Cuando Franklin postuló su ley de conservación de la carga habían transcurrido ciento treinta y cuatro años desde el experimento de Cabeo y dos mil trescientos desde los experimentos de Tales.

2.5. SITUACIÓN DE LA ELECTRICIDAD A MEDIADOS DEL SIGLO XVIII

Hacia 1750 se habían promulgado nuevas leyes de la electricidad que, enunciadas en lenguaje moderno son:

- **Ley 1:** Existen dos tipos de cargas eléctricas, positivas y negativas. En el mundo existe la misma cantidad de cada una de las cargas.
- **Ley 2:** Las cargas eléctricas ni se crean ni se destruyen. Sólo pasan de un cuerpo a otro por contacto o por frotamiento.
- **Ley 3:** Todos los materiales se pueden electrizar por frotamiento. El signo de las cargas que adquieren los dos materiales en contacto son las que señala la tabla triboeléctrica,

[7] En este caso, de la transformación de gauge; por el teorema de Amalie Emmy Noether (1882 – 1935) esta invariancia implica la conservación de carga.

elaborada empíricamente a partir de experimentos, sin leyes a las que obedezca ni teoría que la respalde.

- **Ley 4:** Existen materiales que conducen la electricidad (conductores) y otros que no la conducen (aislantes).

Con el descubrimiento de conductores y aislantes aparecerá la teoría de circuitos, pero para ello deberemos esperar a que nazca Georg Simon Ohm (1789-1854), el mismo año de la Revolución Francesa, y enuncie su famosa ley que relaciona voltaje, resistencia e intensidad, en 1827. De ahí nacerá el transporte de la electricidad, el teléfono, la electrónica, los ordenadores, los teléfonos móviles y un interminable etcétera en el cual todavía estamos incluidos. Pero esa es otra historia.

Con estas cuatro leyes, que responden a un proceso de acomodación de la ciencia a los nuevos descubrimientos (una vez que se demuestra la imposibilidad de explicarlos con las leyes anteriores) es posible explicar, como veremos, todos los fenómenos eléctricos conocidos a mediados del siglo XVIII, el Siglo de las Luces. Entre ellos hemos elegido uno de especial relevancia por su aplicación a las fuerzas intermoleculares, origen de nuestra historia.

A. Polarización por inducción

El hecho de que cualquier cuerpo aislante (como una barra de PVC) cargada por medio de un proceso de frotamiento atraiga a los objetos neutros aislantes o metálicos, se debe a un fenómeno llamado polarización por inducción.

El mecanismo de la polarización por inducción no estaba demasiado claro y no se entendería hasta que se inventara un modelo de molécula polar o polarizable. Por ello en 1750 se suponía que las cargas de ambos signos contenidas

en los pequeños objetos, se separaba en cierta medida. Si acercamos una barra de PVC negativa a un confeti, las cargas positivas del confeti (atraídas por la barra) se acercan a la superficie más cercana al PVC y las negativas (repelidas por la carga negativa del PVC) se situarán en la superficie más alejada de la barra, produciéndose una separación de carga que polariza el confeti. Como el confeti no es conductor, no puede pasar carga de la barra y cargarlo negativamente, por lo cual permanece unido al PVC mientras éste permanezca electrizado. Pero también es cierto que, por no ser conductor el confeti, es difícil explicar cómo se desplazan las cargas en su interior para separarse. Esto constituye una de las preguntas que quedan sin contestar y que marcan la dirección de nuevas investigaciones.

Para asimilar estas leyes, proponemos realizar una serie de experimentos sencillos, de manera que nuestros alumnos se den cuenta, con la profundidad que sus edades permitan, cómo se aplican las leyes para explicar el comportamiento de la naturaleza.

B. ¿Por qué una barra electrizada atrae a un cuerpo conductor neutro?

La barra de PVC se carga negativamente al frotarlo con papel (véase Figura 45). Veamos que ocurre cuando acercamos la barra de PVC a un bote de refresco (Figura 47).

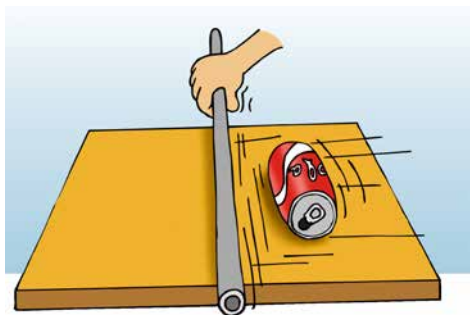


Figura 47. La barra (cargada negativamente) atrae al bote.

- Como el metal del bote es conductor, las cargas negativas del PVC repelen a las negativas del bote, que se desplazan hacia la parte del bote que está más alejada de la barra.
- Cuando un objeto tiene las cargas positiva y negativa separadas, la positiva en un extremo o polo y la negativa en el extremo o polo, se dice que el objeto está eléctricamente polarizado (en este caso, por inducción).
- Como la parte del bote más cercana a la barra de PVC es positiva, es atraída por la barra, desplazándose para seguirla.
- Las cargas negativas del bote están más alejadas que las positivas, por lo cual la repulsión que sienten con la barra es menor que la atracción que siente la parte positiva.
- Cuando gira el bote las cargas positivas y negativas se desplazan dentro del bote, de manera que permanezca polarizado en el plano horizontal.

De esta manera hemos *explicado* el resultado de nuestro experimento aplicando las leyes de la electrostática.

C. Análisis del experimento de Cabeo con ayuda de las leyes de la electrostática

La fuerza eléctrica repulsiva que descubrió Cabeo –y que acabó con el modelo de una sola carga eléctrica– también se puede explicar con los descubrimientos de Dufay de las cargas (+ y -), el movimiento de cargas en el interior de un conductor y el principio de Franklin de la conservación de la carga. Veamos cómo.

Si frotamos una barra de PVC con una servilleta de papel, la barra quedará cargada negativamente y la servilleta —debido a la ley de conservación de Franklin— con igual cantidad de carga positiva.

Cuando se acerca un objeto pequeño de material conductor a la barra de PVC, como un clip, este se polariza por inducción de la misma manera que lo hacía en el bote de refresco: las cargas negativas (que actualmente sabemos que son móviles en los metales) *huirán* hacia el extremo más alejado, dejando el extremo más próximo cargado positivamente, y el metal así polarizado es atraído por la barra negativa (Figura 48).

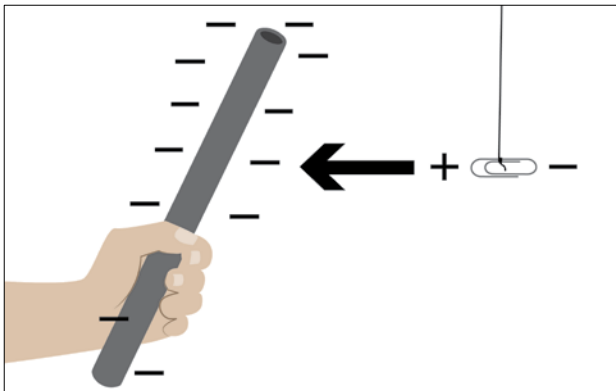


Figura 48. El clip se polariza y es atraído por la barra de PVC.

Como resultado, el objeto se acerca hasta entrar en contacto con la barra y adquiere parte de su carga negativa, ya que es conductor (Figura 49).

- Cuando el pendulillo (formado por el clip y la cuerda), polarizado pero neutro, entra en contacto con el PVC negativo, parte de la carga del PVC se transfiere al pendulillo, cargándolo negativamente.

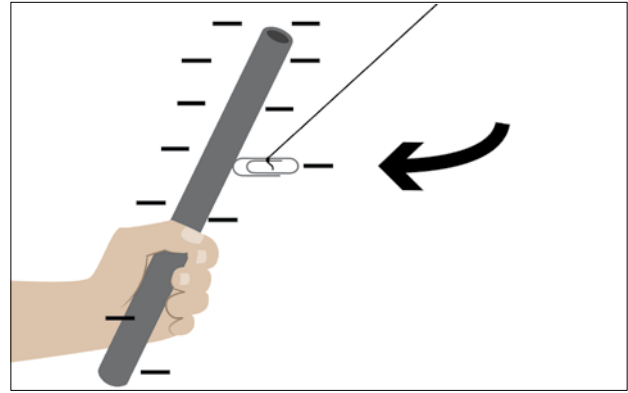


Figura 49. El clip, al ser un material conductor, adquiere carga negativa al entrar en contacto con la barra.

- Como resultado, aparece una fuerza repulsiva que aleja el pendulillo del PVC negativo (Figura 50).

El final del experimento deja ambos cuerpos cargados negativamente, lo que produce la fuerza de repulsión que tanto sorprendió a Cabeo. Al ser imposible de explicar con el modelo de una sola carga, este experimento revolucionó la electrostática, obligándola a elaborar modelos nuevos que diesen razón de este resultado.

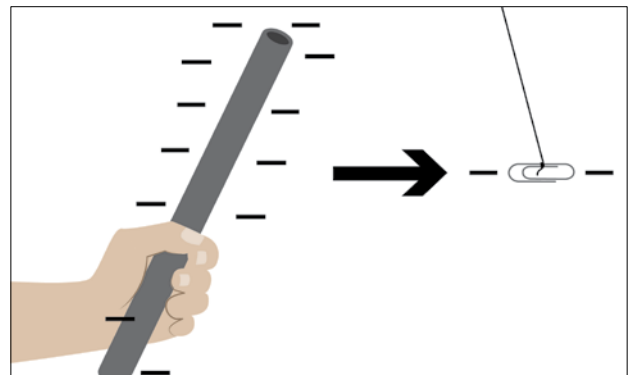


Figura 50. Fuerza repulsiva que aleja el péndulo de la barra.

3. TERCERA PARTE: CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS FUERZAS INTERMOLECULARES

Llegamos así a la tercera parte de nuestra historia; en esta parte trataremos de explicar las fuerzas descubiertas en nuestro primer apartado utilizando el conocimiento de la electrostática que hemos presentado en el segundo apartado.

Básicamente, el comportamiento del agua en contacto con sólidos lo habíamos descrito utilizando los conceptos de fuerzas de cohesión y fuerzas de adherencia. Más adelante, basados en los procesos de evaporación y condensación, llegamos a postular la existencia de moléculas de agua, presentes tanto en el estado líquido como gaseoso. Además, por ser el agua atraída por un cuerpo electrizado y no por un imán, supusimos que los fenómenos que afectaban al comportamiento del agua debían ser de naturaleza eléctrica. Esta conclusión nos pareció una buena hipótesis de trabajo, razón que motivó el estudio de la electrostática, una rama que se desarrolló de manera independiente a las interacciones entre líquidos y sólidos.

Desde el punto de vista didáctico, nos encontramos con el problema de introducir la molécula de agua —polar— de una manera razonable y admisible para los alumnos, sin tener que recurrir a su composición atómica. Se evitaría así el largo camino que nos llevaría al modelo atómico (con las complejidades de la tabla periódica), a la formación de moléculas con su estequiometría y a las propiedades atómicas que explicarían las características eléctricas de la molécula de agua.

Nuestra propuesta consiste en recurrir a una investigación en la red para obtener información sobre posibles modelos de la molécula de agua (propuestos por otros investigadores), y utilizarlos para explicar las fuerzas de cohesión y adherencia. Nos basta con teclear en el buscador las palabras *molécula de agua*, elegir la pestaña de *imágenes* y ver los resultados.

Como podemos observar, todas las figuras que aparecen son representaciones de la misma idea: la famosa y ubicua molécula de H_2O , formada por dos átomos de hidrógeno con carga eléctrica positiva unidos a uno de oxígeno, cargado negativamente.

Este es un buen momento para meditar sobre la naturaleza de los modelos científicos, de las razones por las que se elaboran y de su función en la investigación científica. Un modelo es una representación icónica o simbólica de una parte de la realidad, realizada con el propósito de señalar explícitamente alguna característica de esa parte de la realidad que sea fundamental en el estudio que estamos llevando a cabo. Un mapa de una ciudad es un buen ejemplo de modelo, como lo son las reproducciones a escala reducida de coches, trenes, etc.

En el caso que nos ocupa, como sospechamos que las fuerzas de cohesión y adherencia son de naturaleza eléctrica, elegimos un modelo de molécula de agua en el que estén representadas explícitamente las cargas y su distribución. A partir de ese modelo trataremos de entender las fuerzas que hemos descubierto y que estamos investigando.

Cualquier modelo es bueno si presenta estas características; incluso podemos utilizar a alumnos caracterizados de forma apropiada (una gorra con una inscripción O- que represente el oxígeno y con los brazos extendidos con

dos carteles con una H^+ en cada mano), siempre que la representación de la molécula ponga de manifiesto el estado de polarización eléctrica (Figura 51).



Figura 51. Dramatización de las moléculas de agua con la distribución de cargas en cada molécula.

Con cualquiera de estos modelos de molécula de agua se comprende la aparición de fuerzas atractivas entre el átomo negativo de oxígeno de una molécula y un hidrógeno positivo de cualquier otra molécula que se encuentre cerca de la primera. Es más, si por casualidad se enfrentan los oxígenos de dos moléculas cercanas, aparecerán fuerza de repulsión que evitarán esta situación. Estas fuerzas de atracción entre moléculas reciben el nombre de puentes o enlaces de hidrógeno, un tipo de fuerzas introducido por Johannes D. Van der Waals (1837-1923) en 1873. Por ello se conocen con el nombre de *fuerzas de Van der Waals*.

Debemos darnos cuenta de que, con la introducción de la molécula polar de agua hemos cambiado de modelo, pasando de uno simplemente descriptivo a otro modelo que nos proporciona una explicación de las fuerzas basándonos en las leyes de la electricidad.

Cuando a un modelo se le pueden aplicar las leyes de una disciplina consolidada (como la electricidad) para explicar hechos observados, decimos que hemos elaborado una teoría.

Con esta representación es fácil identificar los puentes de hidrógeno como la causa de las fuerzas de cohesión, un efecto macroscópico de la polaridad (submicroscópica) de las moléculas.

Un modelo es tanto más útil cuantos más fenómenos explique. Por eso, a continuación intentaremos utilizar el mismo modelo de molécula para comprender las fuerzas de adherencia, suponiendo que su naturaleza es también eléctrica.

Comenzaremos por el caso más sencillo, en que la molécula está en contacto con una superficie no conductora constituida por moléculas no polares, como es el caso del papel aceitado o encerado. Como vimos en el primer apartado y podemos recordar repasando nuestras notas, una gota de agua no se adhiere al papel aceitado. Esto es debido a que entre el agua y el aceite no existen fuerzas de adherencia, lo que explica también que ambos líquidos no se mezclen (y se separen debido a su distinta densidad). Con nuestro modelo, llegaremos a la conclusión de que las partes cargadas de las moléculas de agua no encuentran en la superficie cargas de signo contrario a las que sentirse atraídas. Como consecuencia, las fuerzas de adherencia son nulas. A este tipo de superficies pertenece la del teflón, utilizado ampliamente en la industria de tejidos impermeables.

El segundo caso es el de superficies de materiales cuyas moléculas son polares, como el vidrio (formado por óxido de silicio). El oxígeno es un átomo con una afinidad por los electrones muy alta –casi tres veces mayor que la del silicio– por lo que la superficie del vidrio la podemos modelizar como muy polar, formada por átomos de silicio positivos y oxígenos negativos. Por consiguiente, las moléculas de agua, también polares, formaran fuertes enlaces con las cargas positivas y negativas de la superficie,

dando como resultado unas fuerzas de adhesión importantes. Estas fuerzas serán las responsables de los ascensos por los tubos capilares.

Finalmente estudiaremos la adherencia a una superficie metálica, como puede ser una hoja de aluminio (como la utilizada en los experimentos iniciales que nos sirvieron para conceptualizar estas fuerzas). Para estudiar lo que ocurre cuando una molécula de agua entra en contacto con la superficie de aluminio, representaremos ambos elementos en un esquema sencillo: al acercarse una carga negativa del oxígeno al aluminio, las cargas negativas móviles del metal sentirán una fuerza de repulsión hacia el oxígeno, alejándolas de la superficie; esta carencia de carga negativa inducirá una región de carga positiva neta enfrente del átomo de oxígeno que lo atraerá hacia esa región, arrastrando a la molécula entera hacia la superficie. El resultado es la aparición de una fuerza atractiva entre molécula de agua y metal que identificamos como una fuerza de adhesión.

De manera semejante podemos razonar cuando la molécula se aproxima de manera que el átomo más cercano es un hidrógeno. La carga positiva de este átomo atraerá a las cargas libres negativas del metal, creando una región negativa próxima al átomo positivo de hidrógeno que ejercerá la correspondiente fuerza de atracción sobre él. Como en el caso anterior, esa fuerza la identificamos como fuerza de adhesión.

Es muy fácil relacionar estos fenómenos con los de movimientos de cargas en el bote de refresco cuando se acerca una barra electrizada que lo polariza por inducción.

Podemos definir la tensión superficial como la resistencia de la superficie de un líquido a ser atravesada por un objeto.

Como resultado, la superficie puede soportar objetos ligeros. Además, las fuerzas eléctricas de atracción entre las moléculas de superficie tratan de contraer la superficie de la misma manera que el caucho de un globo, lo que explica nuestro modelo de piel elástica (Figura 52).



Figura 52. Insecto apoyado en el agua debido a la tensión superficial de la misma.

¿Por qué la superficie del agua es tan elástica?

La tensión superficial también es responsable de la forma esférica de gotas.

Con este mismo modelo debemos explicar las fuerzas de adherencia, tratando de entender por qué el agua se adhiere a unas superficies con más fuerza que a otras.

Podemos dividir las superficies en dos tipos: las de naturaleza metálica (y por tanto conductoras de electricidad) y las no metálicas, formadas por moléculas que pueden ser polares o completamente desprovistas de polos.

En el caso de las superficies conductoras, las cargas de la molécula de agua polarizarán (por conducción) la superficie con la que están en contacto, apareciendo fuerzas de atracción semejantes a las que aparecían entre la barra electrizada y el bote de refresco.

En el caso de superficies polares, como es el caso del vidrio, es sencillo explicar la adheren-

cia; los hidrógenos se sentirán atraídos por la parte negativa de las moléculas que forman la superficie y los hidrógenos por las positivas. El mayor o menor grado de polarización eléctrica de las moléculas de la superficie será responsable de la mayor o menor magnitud de las fuerzas de adherencia.

Y, en último lugar, estudiaremos el caso de las superficies de sólidos no polares, como el caso de la cera, la parafina o cualquier papel mojado con aceite. En este caso no aparecen fuerzas de adherencia, ya que no existen fuerzas intermoleculares. Es la misma razón por la que el aceite y el agua no se mezclan. En este caso se dice que el agua no moja la superficie.

3.1. CONSIDERACIONES SOBRE LA ESTRUCTURA PIAGETIANA DE LA HISTORIA Y LA ORGANIZACIÓN DIDÁCTICA DE LOS CONOCIMIENTOS

Como hemos visto, no siempre es aconsejable ceñirse rígidamente a la historia para elaborar una aplicación para el aula.

El proceso de sustituir una ley o conjunto de leyes por otras nuevas merece ser estudiado con cierto detalle, ya que es el único proceso de generación de conocimiento.

Las leyes de Tales explicaban los resultados experimentales conocidos hasta 1624. Cuando se intentan explicar los nuevos resultados (Cabeo, Gray, Desaguliers, Dufay) esas leyes fallan y es necesario inventar otras e incluso introducir un principio nuevo (como hizo Franklin) que permita *explicarlos*. Este proceso de sustitución de leyes lo introduce Piaget como proceso generador de conocimiento y lo divide en los siguientes pasos:

1. Situación en que las leyes conocidas explican la totalidad de resultados experimentales disponibles. El sistema "mundo real" (representación mental se encuentra en equilibrio).
2. Se producen nuevos descubrimientos bajo la forma de nuevos resultados experimentales. El intento de explicar los resultados nuevos con las leyes antiguas conduce al fracaso, produciéndose un desequilibrio entre el comportamiento del mundo real y la representación que hemos elaborado en nuestra mente.
3. Como resultado de este desequilibrio, se hace necesario un nuevo conjunto de leyes que haga que nuestra representación mental se acomode al mundo real.
4. Este nuevo sistema de leyes debe explicar tanto los antiguos resultados como los nuevos.
5. Al terminar el proceso nos encontramos con un nuevo esquema que explica un mayor número de resultados experimentales, es decir, una extensión mayor del mundo real. De nuevo nos encontramos en una situación de equilibrio.

Pero las leyes no son más que leyes, es decir, no dan ninguna razón de por qué son de la forma en que son y no generan nunca más conocimiento que el que contienen. Podemos decir que el conocimiento se genera, precisamente, cuando se encuentra un resultado experimental que contradice a las leyes vigentes y obliga a modificarlas mediante un proceso de acomodación. **El campo de la investigación científica es el único, probablemente, en el que podemos decir que las leyes están hechas para romperlas y que la investigación consiste en buscar sus fallos.**

En un nivel superior al de las leyes encontramos las teorías. Una teoría está formada por un modelo (en nuestro caso el molecular) cuyos elementos obedecen a leyes de otras disciplinas, ya consolidadas.

Un modelo mental es, como hemos dicho, una representación del mundo que se realiza por medio de iconos o imágenes simbólicas. Nosotros hemos utilizado canicas o alumnos y alumnas para representar moléculas, y la unión entre ellos o con la mesa para representar las fuerzas intermoleculares.

Basándose en los modelos se pueden deducir las leyes ya conocidas, que son relaciones cuantitativas que se cumplen entre las magnitudes que forman el modelo.

Así, las moléculas tienen cargas eléctricas y obedecen a las leyes de la electricidad y se mueven y chocan conforme a las leyes de la mecánica. Para que una teoría se considere apropiada, de ella deben deducirse las leyes del nivel inferior (además de algunos nuevos procesos y leyes que pueden no haberse descubierto todavía). En el caso que nos ocupa, por encima de la teoría molecular se encuentra la teoría atómica y, a un nivel superior, el modelo (en realidad la teoría) standard. De esta manera las teorías (que a veces se llaman modelos teóricos) se van situando como las capas de una cebolla. En cuyo exterior se encuentra la ciencia de frontera y según nos movemos hacia su interior vamos hallando el nivel de los libros de texto, tanto más elementales cuanto más profundo sea el nivel en el que se hallen.

3.2. ¿QUÉ EXPLICAN LAS LEYES?

Las leyes no explican nada: sirven para predecir el resultado de los experimentos. Pero, como veremos, no lo hacen directamente, pues la cadena de procesos intermedios que ocurren en un fenómeno aparentemente tan sencillo como la atracción de un confeti por una barra electrificada puede requerir la aplicación de varias leyes y propiedades.

4. CONCLUSIONES

En este proyecto se ha investigado la capacidad de los niños y niñas para ver el mundo que no ven con sus ojos, por lo que todas las actividades que se describen a continuación tratan la diferencia del mundo macroscópico al microscópico. Se descubre cómo funciona el mundo y de qué está hecho, es decir se inicia un viaje a través de la materia que se nos presenta en los estados sólido, líquido, gaseoso y plasma.

En los procesos de investigación que han realizado los alumnos, han ido descubriendo de qué está hecha el agua, qué fuerzas actúan cuando una gota se pega a otra sustancia, qué ocurre en el proceso de evaporación, o cómo se sostiene un clip en el agua. Llegando a descubrir, de una manera sencilla, que el mundo está hecho de átomos, moléculas y cristales que nuestros ojos no alcanzan a ver pero que es real y tenemos que conocer cómo funciona.

SEGUNDA PARTE

**DE LA FORMACIÓN AL AULA:
APLICACIÓN PRÁCTICA**



INTRODUCCIÓN

En esta segunda parte de la guía relativa a *De qué está hecho el mundo*, vamos a mostrar la práctica real llevada a cabo en los centros educativos socios así como a establecer la metodología común empleada en la investigación que tuvo lugar en sus aulas.

Comenzando con algunos experimentos sencillos, iniciamos el camino de las preguntas relacionadas con los hechos observados, hecho que permitió a los niños construir teorías y modelos para explicar el mundo que les rodea.

En los ejemplos que describimos a continuación, los alumnos tomaron un papel activo a lo largo de la investigación sobre el comportamiento del agua en diversas situaciones en el mundo físico.

A partir de la formación presencial que nuestros socios recibieron al inicio del proyecto, y que se incluye en la primera parte de esta guía, estas experiencias propuestas responden a criterios pedagógicos adecuados, así como a la capacidad cognitiva de los estudiantes.

Estas experiencias se distribuyeron de la siguiente manera:

- **Colegio Público San Francisco (Pamplona, España).** Comportamiento del agua en presencia de otros objetos. El objetivo aquí también era descubrir las fuerzas de adhesión y cohesión. Los experimentos llevados a cabo estuvieron relacionados con el descubrimiento de estas fuerzas.
 - **Escuela Infantil "Asunduse Lasteaed" (Tallin, Estonia).** El objetivo de los experimentos llevados a cabo en la escuela de Estonia fue encaminado a descubrir la existencia de cosas que no podemos ver con nuestros ojos. Con este fin, realizaron experimentos para descubrir la existencia de moléculas y cargas eléctricas.
 - **Escuela Infantil "Zilvitis" (Kėdainiai, Lituania).** La escuela en Lituania experimentó con el agua en varias situaciones para llegar a la condensación y la evaporación, descubriendo el modelo molecular y comprendiendo, además, al ciclo del agua.
 - **Centro del Profesorado y de Recursos de Gijón-Oriente (Gijón, España).** El objetivo en este caso fue descubrir que las fuerzas de adhesión y cohesión son de naturaleza eléctrica.
 - **KPCEN (Bydgoszcz, Polonia).** Desarrollo de material de apoyo docente para el proyecto "¿De qué está hecho el mundo?"
- En primer lugar, en la Parte 1, describimos el esquema general que cualquier maestro

debe usar para recopilar el material producido durante la investigación científica en su aula. Este esquema fue enviado a todos los socios para ser utilizado como modelo a seguir.

En la Parte 2, detallamos las conclusiones sobre los resultados observados con respecto

a la investigación realizada por los socios.

En la Parte 3, cada socio presenta los resultados de sus proyectos de investigación, como ejemplos prácticos de cómo se llevó la primera parte de esta guía al aula, de acuerdo con el esquema general propuesto en la Parte 1.

PARTE I

MODELO A SEGUIR EN LOS DOCUMENTOS QUE DESCRIBAN LAS INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS EN LAS AULAS

Cada documento debe tener los siguientes apartados:

1. Título del proyecto de investigación

Ejemplo: *Descubriendo la tensión superficial.*

2. Descripción de la actividad

En este apartado se deberían incluir el número de horas totales invertidas en el proyecto, el colegio dónde se ha llevado a cabo, el número y las características de los docentes involucrados en la investigación, los recursos utilizados, la metodología, la literatura empleada, una descripción de los estudiantes y todo lo que se considere oportuno. Aquí abajo se detalla un ejemplo de la información requerida para describir el grupo de alumnos:

Número de alumnos (niños y niñas), edad, condiciones específicas, cualquier cuestión que describa las características del grupo.

3. Propósito del proyecto de investigación

El objetivo de la investigación debería incluir siempre el contenido científico, el método experimental que se ha seguido y la estructura del conocimiento científico. El objetivo puede ser específico (como medir la tensión superficial)

o más general (como por ejemplo descubrir las leyes de la electricidad, la estructura del conocimiento científico con magnitudes, leyes, modelos y teorías o describir el camino por el que los científicos organizan y desarrollan su trabajo de investigación).

4. Desarrollo y preparación de las actividades de investigación

Se trata de describir cómo los estudiantes llevan a cabo sus actividades de investigación.

4.1 Evaluación del conocimiento de los alumnos antes de comenzar con la actividad, considerando tanto el contenido como la estructura del conocimiento científico (NOS).

4.2 Descripción de la metodología empleada. Para aclarar esto, proporcionamos un ejemplo de cómo describir esta metodología:

a) La primera tarea es analizar la ontología del problema (conjunto de conocimientos) que se necesitan organizados como un mapa de Novak.

b) Dibujar ese mapa de Novak.

En el mapa conceptual, en el nivel superior o nivel final se especificarán los conceptos necesarios para describir el proceso que constituye el objetivo de la aplicación, utilizando conceptos científicos.

En el mapa estará señalado el nivel inferior

requerido o nivel de significación de Ausubel, que debe reflejar los conceptos de los estudiantes *ab initio*.

Entre ambos niveles, el de Ausubel y el final, el mapa estará constituido por los conceptos que enlazan ambos niveles y tendrá una estructura constructivista.

En el caso en que la edad de los alumnos lo permita, se señalará explícitamente la forma en la que un concepto pasa a ser magnitud: proceso de medida, unidades, etc.

c) La importancia de la indagación en el trabajo científico: Nature of Scientific Inquiry (NOSI).

Para empezar, el profesor elegirá un experimento provocador, que sirva tanto para despertar el interés de los alumnos como para evaluar los conocimientos previos que tienen sobre el tema. Por ejemplo, en el caso de la electricidad se podría comenzar por el experimento de Tales. En el caso de las fuerzas de cohesión y adherencia, por el experimento de la gota entre los dedos índice y pulgar, etc.

Tras el experimento provocador, se pedirá a los alumnos que describan el proceso con sus propias palabras, respondiendo a las preguntas:

¿Qué ocurre?

¿Cómo ocurre?

¿Por qué ocurre?

d) Detectando los falsos conceptos

De las respuestas que haya dado el alumnado, el docente debería evaluar el conocimiento previo de sus estudiantes, su nivel de Ausubel y su capacidad para emplear el lenguaje para describir de forma precisa lo que han visto, al mismo tiempo, que evaluarán la existencia de

falsos conceptos. Los falsos conceptos deben ser deconstruidos empleando debates en el aula, sustentados por experimentos que se puedan llevar a cabo expresamente con este fin.

e) El camino experimental

El docente, empleando el método socrático, debe dirigir a sus estudiantes hacia el experimento necesario para responder preguntas básicas, que serán útiles para construir nuevos conceptos necesarios para descubrir leyes y modelos, acorde a la edad de los estudiantes.

Este camino experimental es el que define el trabajo de investigación, y debe ajustarse en lo posible al camino histórico seguido en el proceso científico.

A lo largo del recorrido didáctico se introducirán experimentos y ejercicios de evaluación para comprobar los procesos de asimilación de los alumnos respecto a los conocimientos adquiridos. Estos ejercicios deberían realizarse después de introducir los conceptos más relevantes o de especial dificultad.

5. Conclusiones y evaluación final de la actividad

Para comprobar que el proceso de aprendizaje ha dado los resultados esperados, el profesor propondrá la realización de un experimento nuevo, cuya explicación requiera manejar los conceptos del nivel superior del mapa de Novak. Los alumnos deberán no solo identificar los conceptos sino *aplicar las leyes, modelos y teorías* (contemplado en los test PISA), si las hubiese, necesarios para explicar de forma teórica por qué y cómo ha ocurrido el proceso.

En el caso de la electrostática un buen experimento de evaluación es el de las campanas de Franklin, un experimento en el que cada concepto se necesita para explicar qué está pasando.

La evaluación consistirá en comparar el nivel de conocimientos alcanzados por los alumnos con el nivel inicial de cada uno de ellos. Si se detectase la persistencia de falsos conceptos se tratarían de nuevo en un esquema semejante al utilizado en la aplicación.

6. Consideraciones finales

En el informe deberían incluirse los dibujos de los niños, fotografías, vídeos, gráficos y cualquier otro tipo de material realizado por el alumnado durante la investigación. Todo este material gráfico debe ir acompañado de la correspondiente explicación.

Es obligatorio conseguir el permiso de toma de imágenes por parte de los padres para poder publicar este tipo de material.

PARTE 2

RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LAS EXPERIENCIAS LLEVADAS A CABO EN LAS AULAS ACORDE AL ESQUEMA GENERAL ANTERIOR

Tal y como hemos establecido en la introducción, los socios han llevado a la práctica las experiencias propuestas por la coordinación en base a la formación recibida, siendo los ejemplos de que sea cuál sea el país de la Unión Europea e independientemente de su lengua, cultura, condiciones sociales y económicas, religión, sexo, etc., con una buena formación científica y una metodología adecuada, los docentes, pueden llevar al aula la ciencia desde las etapas más tempranas de la educación. Es tarea de los profesores saber hasta qué grado de conocimientos puede llegar con sus alumnos y alumnas en función de la etapa cognitiva en la que se encuentran, acorde a las descritas por Piaget.

Todas estas consideraciones se encuentran recogidas en la guía *Scientific literacy at school: a proposal of a new methodology*, con las recomendaciones para establecer criterios comunes de enseñanza de la ciencia, aplicables a la Unión Europea.

Volviendo a la realidad de las aulas de los socios participantes, los resultados obtenidos en todas las experiencias realizadas comparten cómo a través de experimentos y caminos diferentes, todos llegan a conclusiones comunes, en los que los niños han sido auténticos investigadores y han llegado a descubrir, por sí mismos leyes, modelos y teorías adaptados a su etapa cognitiva.

Las conclusiones que se pueden extraer de las aplicaciones al aula en consonancia con los resultados esperados del proyecto son:

1. Asunción de un cambio de actitud hacia la ciencia por parte de los docentes socios, reflexionando sobre la necesidad de la formación previa.
2. Aceptación y valoración del profesorado en la formación científica recibida al inicio del proyecto sobre los dos temas científicos propuestos: *De qué está hecho el mundo* y *Arqueología en el aula*.
3. Consideración positiva sobre la nueva forma de ver el mundo desde el punto de vista microscópico; se puede enseñar y descubrir cómo es la naturaleza, a partir de la realización de experimentos muy sencillos relacionados con la vida cotidiana.
4. Respecto al alumnado, los profesores han comprobado que se pueden abordar en las aulas estos temas y que los niños y niñas son muy capaces de construir modelos científicos adaptados a su nivel educativo.
5. Los niños y niñas representan otra forma de ver el mundo a través de sus dibujos, especialmente el mundo que no se ve con los ojos.
6. Cada vez es más necesario introducir la enseñanza de la ciencia desde la educación

infantil pues los niños y niñas se habitúan a hacer preguntas, a resolver problemas y a cuestionarse todo lo que observan.

7. Los docentes expresan los cambios que se van produciendo en el pensamiento de los niños ante la ciencia. Ya no es “magia”, es “ciencia”.
8. Se rompe un mito: la ciencia es divertida; aunque se disfrute aprendiendo, la enseñanza de la ciencia sirve para enseñar a pensar y resolver problemas, es decir, supone cambios en la manera de pensar para construir conocimiento.
9. Se ha observado que tanto los niños como las niñas responden de igual manera y con el mismo interés ante el aprendizaje científico, lo que coincide con el resultado de las últimas investigaciones¹.
10. A partir de las respuestas de los docentes a los cuestionarios de Lederman, se ha observado la necesidad de que éstos adquieran una visión más profunda de la ciencia, basada en su propia estructura (Nature of Science). Se hace muy necesario determinar un núcleo de contenidos científicos en los currículos de la Unión Europea sobre la formación de los docentes de enseñanzas no universitarias.

Para cerrar esta parte concluiremos con una reflexión. Los maestros se encuentran en un posición de privilegio para influir en la sociedad, ya que su papel es el de transmitir a los futuros ciudadanos los conocimientos y actitudes necesarios para que pasen sus vidas en una

sociedad tecnológica y altamente sofisticada, es decir, que sus alumnos adquieran lo que **Lederman** y **Charpak** llaman cultura científica. Además, por ser la educación en las primeras etapas una actividad en la que se requiere la participación activa de las familias, las formas de enfocar los problemas y la misma filosofía de la enseñanza llegan, prácticamente, a todos los ciudadanos de la Unión Europea. Los conocimientos específicos se estructuran en torno a una manera de pensar y a un esquema de valores que solo se adquieren de manera natural en las edades tempranas. Y es también en esas edades cuando tiene lugar la socialización de los alumnos.

Las señales de radio llegan a nuestras televisiones, teléfonos móviles o aparatos de radio o interconectan nuestros aparatos por *bluetooth*, los ultrasonidos que hacen abrirse y cerrarse las puertas de nuestros garajes y nos ayudan a formar las imágenes de las ecografías, los rayos X nos permiten ver el interior de nuestros cuerpos. Todos ellos forman parte de la vida cotidiana de los alumnos y alumnas de las primeras etapas educativas. El fin de esta guía es ayudar al alumnado a desenvolverse en un mundo que, en su mayor parte, cae fuera de nuestros sentidos.

[1] Bian, L., Leslie, S-J. and Cimpian, A., 2007. Gender stereotypes about intellectual ability emerge early and influence children's interests. *Science*. 355(6323), pp. 389-391.

PARTE 3

INVESTIGACIONES LLEVADAS A CABO POR LOS SOCIOS

CENTRO DE PROFESORES Y RECURSOS GIJÓN- ORIENTE (ASTURIAS, ESPAÑA).

DESCUBRIENDO LAS LEYES DE LA ELECTROSTÁTICA

1. INTRODUCCIÓN DEL COORDINADOR

Hemos tomado como ejemplo de centro adscrito al CPR de Gijón la investigación que ha realizado el CRA Eugenia Astur-La Espina que es un Centro Rural Agrupado (CRA) de la zona asturiana. La investigación ha sido realizada por un maestro y su clase que engloba alumnado de diferentes edades al tratarse de un Centro Rural que agrupa a varios cursos.

Con el título *Fuerzas Invisibles* el objetivo del docente ha sido introducir al alumnado en los conceptos de modelos, leyes y teorías de la electrostática. Comenzando con un experimento provocador, frotando un bolígrafo de plástico y acercándolo a unos papelitos, se inicia el camino de la investigación. Tras realizar otros experimentos relacionados con este, el maestro va conduciendo a los alumnos y alumnas al descubrimiento de algunas leyes de la electricidad, pero siendo siempre los niños y las niñas los que llegan a descubrirlas de una forma constructivista y experimental.

2. METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA INVESTIGACIÓN

Antes de iniciar la investigación, los docentes elaboramos un mapa de Novak, es decir, un mapa conceptual sobre los fenómenos que

queríamos descubrir en este proyecto. La estructura del mapa es constructivista y marca nuestro camino experimental. Hicimos una guía con los pasos de la investigación para que los alumnos y alumnas llegaran a descubrir las leyes de la electricidad. Esta guía comprende:

- Observación casual: despertando el interés.
- Experimentos 1, 2 y 3.
- Inventamos un nombre para el fenómeno que hemos descubierto.
- Introducimos nuevos conceptos.
- Experimento 4 para asimilar conocimiento.
- Nuevos conceptos.
- Conclusiones.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: DESCUBRIENDO LAS LEYES DE LA ELECTROSTÁTICA

La investigación ha sido realizada por el maestro Miguel Ángel Moreno en el aula de la que es tutor, con un grupo de 13 alumnos y alumnas, durante un trimestre escolar.

3.1. LOS MEDIOS

Los medios que se han utilizado han sido bolígrafos, papelitos, servilletas, clips, cordón de nailon, globos, latas de refresco, barritas de PVC, papel de aluminio, palitos de brochetas.

3.2. BIBLIOGRAFÍA

Respecto a la bibliografía, empleamos principalmente la Web del Aula Virtual del CSIC (www.aulavirtual.csic.es) así como la Web de El CSIC en la Escuela (www.csicenlaescuela.csic.es) y KIDS CSIC (www.kids.csic.es).

3.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Introducir al alumnado a través de la experimentación en los modelos, teorías y leyes de la electrostática.

3.4. COMIENZA LA INVESTIGACIÓN: DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO PROVOCADOR Y RESULTADOS

Comenzamos el camino de la investigación con un experimento que motiva y llama la atención de los alumnos y alumnas. Frotamos un bolígrafo con nuestros jerséis y lo acercamos a unos papelillos. Es un fenómeno al que todos hemos jugado en clase, pero nunca nos habíamos preguntado qué pasaba. Los alumnos y alumnas dan varias respuestas:

– *Creo que al frotar el boli se genera electricidad estática. No es magia, es ciencia.*

– *Al frotar el boli se genera energía estática.*

– *Al frotar el bolígrafo contra la ropa, se produce una fuerza por la cual los papelitos se pegan. (Es interesante que esta alumna señale que se trata de "una fuerza").*

Todos los alumnos y alumnas tienen una idea de la electricidad estática, pero es necesario seguir investigando para descubrir la naturaleza de esta fuerza.

Aprovechamos para definir en qué consiste un experimento: se trata de un conjunto de procesos preparados o diseñados (en el laboratorio) para aumentar nuestro conocimiento para explicar fenómenos que ocurren de forma natural.

Lo que hicimos anteriormente de forma un tanto casual, es un experimento. Ahora lo vamos a hacer de forma más consciente.

3.5. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO 1. PROFUNDIZAR EN EL EXPERIMENTO PROVOCADOR

Antes hemos frotado directamente el bolígrafo a la ropa. Ahora vamos a repetir el experimento pero acercando el bolígrafo sin frotarlo. Anotamos los resultados en nuestro cuaderno.

En segundo lugar, frotamos el bolígrafo a la ropa de nuevo y lo acercamos a los papeles, a una servilleta, al pelo de los compañeros y compañeras, etc. Vemos qué sucede y lo anotamos de nuevo.

Observamos como conclusión que es necesario frotar el bolígrafo para que esa "fuerza" actúe. Pero, ¿por qué?

3.6. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO 2. ¿EL BOLÍGRAFO ATRAE A MÁS COSAS?

Para este experimento, atamos una cuerda de nailon a un clip y, tras frotar el bolígrafo, vemos que el bolígrafo y el clip se aproximan. Observamos que sucede lo mismo que entre el bolígrafo y los papelitos.

Para seguir investigando realizamos un tercer experimento.

3.7. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO 3: EL GLOBO Y LA LATA DE REFRESCO

Primero acercamos un globo hinchado y sin frotar a una lata de refresco vacía. Vemos que no sucede nada.

Después hacemos la misma operación que con el boli. Frotamos el globo y lo acercamos a la lata. Observamos que la lata se “mueve” hacia el globo.

Aprovechamos el globo frotado y lo acercamos al clip. Vemos que también se acerca el clip al globo.

Tras realizar estos tres experimentos, llega el momento de analizar qué ha pasado. Las preguntas que les hacemos a los alumnos y alumnas son las siguientes:

- *¿Qué diferencias observas al frotar o no frotar el globo y el boli?*
- *¿Qué nombre le pondrías al fenómeno observado?*
- *¿Qué relación crees que existe entre estos fenómenos y la electricidad que nos llega a casa?*

Las respuestas del alumnado son variadas. Respecto al experimento del globo y el clip dicen

– *Observo que el globo y el clip no se pegan (si no se frota el globo) y sí se pegan si se frota el globo. Le pondría el nombre de “la fuerza de la energía” y creo que la relación con la electricidad que llega a casa es que “hay algo que atrae la electricidad a nuestra casa igual que con el globo y el clip.”*

Otro alumno dice:

– *Le pondría el nombre de “Fenómeno del clip” y creo que la relación con la electricidad que llega a mi casa es que en las dos hay una corriente eléctrica.*

3.8. DESMONTANDO LOS PRECONCEPTOS

Explicamos a los niños y niñas que cuando un objeto, tras ser frotado con un paño o papel, adquiere la propiedad de atraer (le damos el lenguaje adecuado, en vez de “pegar”) objetos más pequeños, decimos que está *electrizado*. En cambio, si el objeto no tiene esta propiedad (no los atrae), decimos que es *neutro*. Hay que seguir investigando en estas propiedades.

Para ello, seguimos realizando experimentos frotando otros objetos y viendo qué sucede: un lápiz de madera, una barra de cobre...

Inmediatamente nos surgen nuevas preguntas:

- *¿Existen materiales que se electrizan por frotamiento y otros que no?*
- *¿Qué quiere decir “atraer”?*
- *¿La atracción entre dos cuerpos, qué es? ¿Es*

una fuerza? ¿Es visible al ojo humano?

- Si frotamos el boli o el globo con más intensidad, ¿atraerá a más papelitos? ¿La lata “caminará” más rápido?
- ¿Significará que aumenta su fuerza de atracción el objeto electrizado?

Las respuestas de los alumnos son similares en todos los casos. Todos ven claro que hay objetos que se electrizan por frotamiento y otros que no. Todos coinciden en que la atracción entre dos cuerpos es una fuerza. Definen la atracción de formas diferentes, pero con la idea común de que un cuerpo se acerca a otro sin necesidad de estar en contacto. Las preguntas que generan más controversia son la dos últimas, dónde se ve diferencia de opiniones en la clase.

3.9. INTRODUCCIÓN DE NUEVOS CONCEPTOS

Los alumnos y alumnas no tienen más remedio que admitir que en el interior de los materiales tiene que haber “algo” que haga que unos objetos se queden cargados y otros no.

Tras los experimentos realizados, introducimos el concepto de carga eléctrica, definiéndolo como la cantidad de electricidad que tiene un objeto. Enunciamos una nueva magnitud: la fuerza que ejerce un cuerpo electrizado sobre otro cuerpo neutro se llama **fuerza eléctrica**. A mayor carga eléctrica, mayor fuerza eléctrica. La fuerza es una magnitud porque se puede medir.

Hacemos un alto en el camino para retomar el concepto de **ley**, focalizado en la ley de la Gravedad, descubierta por Isaac Newton y que es, en una descripción sencilla, la fuerza

con que la Tierra atrae a las masas. Es una ley porque siempre se cumple.

3.10. SEGUIMOS INVESTIGANDO PARA LLEGAR A LAS LEYES

Algunos alumnos y alumnas se han percatado de que cuando pasa un tiempo, el objeto electrizado deja de atraer al neutro:

- ¿Qué ha pasado?
- ¿Por qué sucede esto?

Algunas de las respuestas dadas son:

- Porque transmite la energía a otro cuerpo.
- Porque pierde la carga eléctrica.
- Porque la carga eléctrica pasa a los papelitos.

Para averiguar qué sucede, vamos a seguir experimentando, esta vez acercando un globo y un boli a dos papelitos de aluminio doblados sobre un pincho de brocheta, tal y como muestran las fotografías.



Figura 1.

El alumnado piensa a priori que los papelitos van a ser atraídos por el globo o el boli. Después de repetir el experimento con distintos globos, bolis y trozos de papel de aluminio, observan que siempre los papeles de aluminio se separan.

De esta forma experimental y realizando ellos mismos el camino, se dan cuenta de que aparece otra fuerza. Le damos un nombre: fuerza de repulsión.



Figura 2.



Figura 3.



Figura 4.

3.11. CONCLUSIONES QUE OBTENEMOS DE LA INVESTIGACIÓN

Paso a paso podemos ir obteniendo unas conclusiones gracias al camino que hemos llevado a cabo:

1. Cuando frotamos un cuerpo, este queda **electrizado** (es decir, tiene una carga eléctrica).
2. Cuando un cuerpo electrizado lo acercamos a otro cuerpo neutro (no electrizado) aparece lo que llamamos **fuerza eléctrica**, que puede ser:

- De **atracción**.
- De **repulsión**.

Además hemos observado varias formas de conseguir que un cuerpo se quede electrizado:

- Por frotamiento.
- Inducción.
- Contacto.

La pregunta ahora es: ¿Todos los cuerpos tienen cargas eléctricas? El alumnado responde en su mayoría afirmativamente comentando la experiencia que todos hemos tenido en algún momento de tocar un objeto y sentir un "chispazo".

Explicamos a los niños y niñas que existen dos tipos de carga: positiva y negativa. Normalmente los cuerpos son eléctricamente neutros, es decir, tienen el mismo número de cargas positiva que

de negativas. Para que un cuerpo quede cargado eléctricamente tiene que ser porque bien sus cargas positivas superen a las negativas o al revés. Por eso, cuando frotamos un cuerpo, pierde parte de sus cargas negativas y, decimos que está cargado positivamente.

Por el contrario, cuando un cuerpo gana cargas negativas, decimos que está cargado negativamente.

El paso siguiente en la investigación es analizar nuestros experimentos y pensar qué ha sucedido en ellos, viendo la estructura de la materia con los ojos de la imaginación desde un punto de vista submicroscópico.

Los alumnos y alumnas ven que, al frotar el boli, éste se ha quedado cargado, positiva o negativamente.

Pero para que atraiga a los papelitos o para que se repelan las láminas de aluminio, tiene que pasar algo en las cargas. Llegan así, por sí mismos, a descubrir las leyes de la electricidad:

- Las cargas de igual signo se repelen.
- Las cargas de distinto signo se atraen.

Se establecen, por tanto, fuerzas de atracción y fuerzas de repulsión entre los cuerpos. De nuevo enunciarnos las leyes:

- Dos cuerpos electrizados con cargas de mismo signo, se repelen (las láminas de aluminio).
- Dos cuerpos electrizados con cargas de diferente signo, se atraen (los papelitos y el boli).

ESCUELA INFANTIL "ZILVITIS" (KĖDAINIAI, LITUANIA).

EVAPORACIÓN Y CONDENSACIÓN: EL CICLO DEL AGUA

1. INTRODUCCIÓN DEL COORDINADOR

El proyecto de investigación llevado a cabo por la Escuela Infantil de Lituania responde a que los alumnos y alumnas descubran el ciclo del agua y lleguen al modelo molecular del agua. El camino de la investigación ha sido un camino constructivista en el que los niños y niñas son los verdaderos protagonistas.

Con la formación adecuada, las maestras que han realizado los experimentos con el alumnado les conducen al descubrimiento de la evaporación y condensación, partiendo de un experimento sencillo y provocador como es observar los charcos que se forman tras un día de lluvia.

Este camino favorece la introducción del concepto de molécula de agua a la vez que introduce un fenómeno natural y da respuesta a una pregunta: por qué llueve.

La ciencia en realidad no se ocupa de los *porqués*, sino del *cómo*, así que, cuando los alumnos descubren el ciclo del agua, en realidad están descubriendo cómo se produce la lluvia.

2. METODOLOGÍA COMÚN UTILIZADA DURANTE EL PROYECTO

Previo a iniciar el camino de la investigación, las docentes han elaborado un mapa conceptual sobre el fenómeno objeto de estudio.

Este mapa tiene una estructura constructivista y se señala el camino experimental que es necesario para introducir los diferentes conceptos en función de la etapa cognitiva en la que se encuentren los niños y niñas, acorde a Piaget.

El mapa conceptual elaborado ha sido, de menos a más:

1. Propiedades específicas que diferencian los sólidos de los líquidos.
2. Propiedades específicas del agua.
3. Estados de la materia: sólido, líquido y gas.
4. Los cambios de estado del agua: evaporación y condensación.
5. El agua está formada por moléculas (paso del mundo macroscópico al mundo microscópico).
6. El ciclo del agua.

3. EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "EVAPORACIÓN Y CONDENSACIÓN: EL CICLO DEL AGUA"

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 1: ¿QUÉ SUCEDE EN UN CHARCO?

¿Qué sucede en un charco?

El proyecto de investigación se llevó a cabo en 2 días. Una maestra de preescolar organizó las actividades. Participaron en el Proyecto 16 niños. Los niños tienen entre 5 y 6 años y son muy creativos y entusiastas. El alumnado ofrece ideas cada vez más imaginativas sobre cómo hacer una tarea o sobre cómo resolver desafíos a más largo plazo o más abstractos. Los niños disfrutaban participando en toda la variedad de experiencias propuestas.

Los recursos utilizados durante la realización del proyecto son los siguientes:

- Tiza.
- Cinta métrica.
- www.kidzone.ws/water/bactivity1.htm
- www.aulavirtual.csic.es/
- www.csicenlaescuela.csic.es/
- www.youtube.com/watch?v=FAAnDIYRycqs
- www.youtube.com/watch?v=_TwKDuoZJC4
- www.youtube.com/watch?v=Vm6HthxtzPw

Propósito de la actividad

Siguiendo el camino experimental, el proyecto de investigación comenzó con un experimento provocador: simplemente observando la naturaleza. La idea era descubrir con el alumnado si el agua se evapora del charco y conducirles al proceso de evaporación.

Preparación y elaboración de las actividades de investigación

Para llevar a cabo el proyecto de investigación, utilizamos el método científico de observación, pregunta, hipótesis, experimento y análisis. Las conclusiones fueron extraídas después de la finalización de la investigación.

Por la mañana los niños salieron al exterior, donde había muchos charcos. Algunos de ellos llevaban botas, así que les gustaba chapotear y correr sobre el agua. Observaban, a la vez, el tamaño de los charcos.

Los niños recordaron que el día anterior también había charcos, pero eran más grandes que los que veían ese día. Surgieron más preguntas.

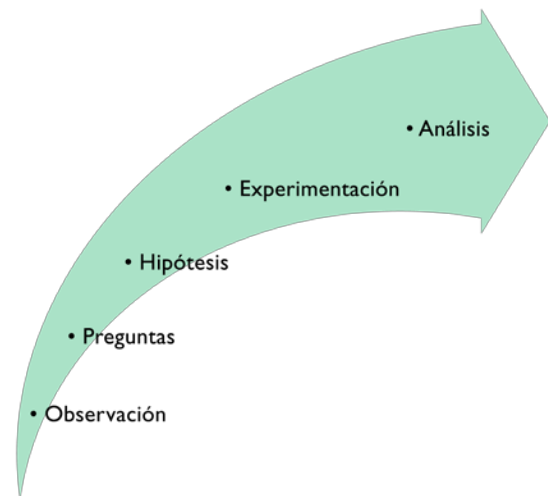


Figura 1. Etapas de las actividades.

Las docentes utilizaron el método socrático y, utilizando el diálogo, les hicieron algunas preguntas a los niños:

- *¿Qué pasa con la ropa mojada?*
- *Cuando tus zapatos están mojados, ¿qué haces?*
- *¿Dónde pones tu paraguas cuando está mojado?*

Estaban ansiosos por saber si desaparecía el agua del charco y cuánto tiempo lleva ese proceso. Para descubrir las respuestas comenzamos nuestro experimento.

En primer lugar, tomamos una tiza y rodeamos el charco. Los niños tomaron la cinta métrica y midieron la longitud del charco y lo dibujaron.

Por la tarde, los niños midieron el charco de nuevo. Comparamos las cifras de la mañana y descubrimos que el charco se había hecho más pequeño por la tarde.

Los niños jugaron a un juego: saltar de números en el suelo (rayuela) y lo hacían sobre el charco. Todos estuvieron de acuerdo en que era más fácil saltar sobre el charco por la tarde porque era más pequeño.

Cuando volvimos al aula, tuvimos un debate sobre la evaporación del agua. Vimos una historia de una pequeña gota de lluvia, recordamos el material de las lecciones anteriores sobre el ciclo del agua y finalmente los niños representaron todo en sus dibujos (cuaderno de científico).

A través de la discusión y los ejemplos, los propios niños dieron las respuestas correctas: cuando algo está mojado, se seca y el agua se va al aire: significa que se evapora.



Figura 2. Aparecieron otras preguntas.

Se dieron cuenta de que el agua se evapora. Dos días después, los niños salieron y vieron que el agua del charco ya había desaparecido por completo.

Evaluación final de la actividad

Los niños explicaron con sus propias palabras lo que sucede cuando el agua se evapora del charco. Se dieron cuenta de que la evaporación es importante para el ciclo del agua de nuestro planeta. El agua cae del cielo en forma de lluvia (o si hace frío, aguanieve, granizo o nieve). El agua vuelve a evaporarse en el aire a medida que se calienta (aunque sabemos que el agua se evapora constantemente).



Figura 3. Dibujos.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 2: ¿DÓNDE HA IDO EL AGUA QUE HA "DESAPARECIDO" DE LA ROPA MOJADA?

Esta es la continuación de la actividad anterior que se utiliza para fijar las ideas. Conllevó 2 días de trabajo y dos maestras de Infantil organizaron las actividades. Participaron en el proyecto 20 niños que tenían entre 4 y 5 años. Hubo 11 niñas y 9 niños.

El grupo está lleno de energía, son alumnos habladores y curiosos. Constantemente ponen a prueba su entorno. Aprenden cosas nuevas constantemente a través del juego.

Los recursos utilizados durante la realización de la actividad son los siguientes:

- Cuencos
- Tazas
- Agua
- Muñecas
- Ropa
- Una cuerda
- www.youtube.com/watch?v=Y9uOLkivcfw
- www.youtube.com/watch?v=TWb4KIM2vts
- www.delfi.lt/video/laidos/animacija/animacinis-filmas-vandens-lasas.d?id=62473607
- www.aulavirtual.csic.es
- www.csicenlaescuela.csic.es

Propósito de la investigación

Fijar los conceptos que los niños adquirieron en la actividad anterior con otra actividad que involucre el proceso de evaporación. Se ha vuelto a utilizar un fenómeno de la vida cotidiana: cómo se seca la ropa, para explorar cómo se evapora el agua.

Preparación y elaboración de las actividades de investigación

El interés de los niños ya se había despertado con la investigación de los charcos. La maestra tomó una hoja de plástico y, usando una pipeta, les pidió a los niños que le agregaran gotas de agua. Después de eso, la hoja con las gotas se colocó en el alféizar de la ventana. La maestra hizo preguntas:

- *¿Qué pasará con las gotas?*
- *¿Por qué se eligió el alféizar de la ventana?*

Los niños, muy curiosos, les dieron varias respuestas.

Descubriendo los falsos conceptos

Varios niños dijeron que las gotas permanecerían en la hoja y que formarían un charco; otros pensaron que no pasaría nada; algunos dieron la respuesta de que las gotas "escaparían".

La maestra dijo que los resultados finales del experimento estaría claros en una hora. Mientras tanto, los niños se sentaron en círculo y escucharon una historia lituana sobre el viaje de una gota de lluvia. Después de eso, los niños jugaron un juego, dramatizando que ellos eran pequeñas gotas de agua. Posteriormente, seguimos preparando y eligiendo la ropa para muñecas.

Etapas de la investigación

La maestra junto con los niños vierten un poco de agua tibia en los cuencos. Usan el jabón para lavar. Los niños toman la ropa de las muñecas y la lavan.

Los enjuagan con agua limpia y tratan de escurrir la ropa con la ayuda de un adulto. Algunas prendas se cuelgan dentro del aula mientras que algunos vestidos y un chal se tienden fuera con ayuda de una cuerda.

Por la tarde observamos la ropa que estaba dentro del aula.

La ropa todavía está mojada. Los niños dan motivos de por qué está mojada todavía y dicen:

- No hay sol.
- Tenían frío.
- No hace calor aquí.
- No había viento.
- No hubo nubes.



Figura 4. Lavando la ropa de las muñecas.

Entonces, decidimos sacar la ropa fuera. En el exterior luce el sol.

Observamos la ropa del exterior y para nuestra sorpresa, está seca. Las respuestas de los niños son realmente importantes porque se dan cuenta de que algo sucede. Los niños dicen:

- El sol calentaba la ropa y el agua se evaporaba.
- El viento sopló el agua.
- Ahora el agua vive en una nube.
- No pude ver cómo se ha evaporado el agua.
- El vapor es invisible.

Evaluación final de la actividad

Los niños, por tanto, dieron la explicaron adecuada:

El agua puede estar en estado de gas, que es invisible. El agua se evapora aunque no la veamos.

Y sacan las conclusiones:

- El vapor está en el aire.
- El vapor se forma cuando la temperatura sube.
- El vapor no se puede ver.

El siguiente paso es hacer que los niños entiendan que la ropa del aula también estará seca, pero este proceso llevará más tiempo porque el sol no está en el aula y no acelera el proceso. La evaporación se acelera por la temperatura, pero el agua, en realidad, se evapora constantemente.

3.3. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 3: DESCUBRIENDO LAS MOLÉCULAS

El proyecto de investigación llevó 2 días y 2 maestras de educación infantil fueron quienes organizaron las actividades. Participaron en el proyecto 34 niños y niñas de entre 4 y 6 años. Al igual que antes, el alumnado es creativo y entusiasta. Son imaginativos y curiosos y están ansiosos por encontrar las respuestas a la multitud de preguntas que tienen. Los niños disfrutaban participando en todas las actividades.

Los recursos y medios utilizados durante la realización del proyecto son los siguientes:

- Lápices
- Vasos desechables
- Papel

- Agua
- www.youtube.com/watch?V=FFbJ8REc9jo
- www.aulavirtual.csic.es
- www.csicenlaescuela.csic.es

Propósito de la investigación

Después de descubrir que el agua se evapora y que el calor acelera este proceso, el siguiente paso en la investigación es descubrir la naturaleza del agua para llegar al concepto de molécula.

Preparación y elaboración de las actividades de investigación

Comenzamos nuestra investigación por la mañana temprano. Salimos y observamos las gotas de lluvia que goteaban del techo. Los niños cogieron unos vasos y comenzaron a juntar las gotas de lluvia que caían del techo en sus vasos. Los vasos eran transparentes por lo que no era difícil contar las gotas de lluvia y observarlas.

Más tarde medimos quién tenía más agua en su vaso y ganó un niño llamado Arnas. Las maestras explicaron que esas gotas de agua están formadas por partículas y las partículas están formadas por moléculas que nuestros ojos no pueden ver. De este modo dimos el salto del mundo macroscópico al microscópico.

Cuando volvimos a la clase, los niños representaron las gotas de lluvia en sus cuadernos. Hicieron las gotas de lluvia animadas, coloridas, añadieron piernas y manos... Fomentando su creatividad.

Con todo lo investigado, preparamos una exposición. Representamos en el aula cómo se mueven las moléculas dentro de las gotas. La maestra les ayudó explicando que las moléculas se unen para formar el agua y que durante el proceso de evaporación las moléculas, sin embargo, se separan.



Figura 5. Niños jugando al juego llamado *Amistad*.

Los niños hicieron capas de papel, imaginaron que eran moléculas y jugaron a un juego llamado *Friendship* (Amistad).

Evaluación final de la actividad

El tema de la investigación fue algo más complejo para los niños que las anteriores actividades porque el término moléculas era nuevo para ellos. Primero descubrimos la existencia de las moléculas y las maestras les condujeron por un camino experimental para que los niños pudieran entender su significado.

El alumnado se dio cuenta de que era imposible ver las moléculas, pero todos dijeron que realmente existían esas moléculas en sus vasos de gotas de lluvia. Un niño llamado Pijus dijo que las moléculas de agua se unen entre sí y de esa forma aumenta el tamaño de las gotas de agua. La conclusión más importante es que los niños aceptan que hay un mundo que no pueden ver pero que existe.

3.4. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 4: CONDENSACIÓN

Esta actividad de investigación se llevó a cabo en una mañana y se encargaron de realizarla dos maestras de infantil. Participaron 35 niños con edades comprendidas entre los 4 y 6 años. Son niños enérgicos, alegres, interesados en

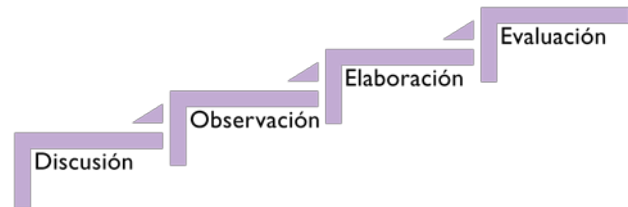


Figura 6. Etapas de la investigación.

todo lo que es nuevo, creativos y entusiastas. Ofrecen excelentes ideas sobre cómo realizar una tarea o incluso, crear algo. Los niños disfrutaban participando en las variadas experiencias que se les presentan.

Los recursos utilizados durante la realización del proyecto son los siguientes:

- Una lata fría, recién sacada de la nevera
- Un vaso
- Agua
- [www.youtube.com / watch? V = UbgGbfYVx-E](http://www.youtube.com/watch?v=UbgGbfYVx-E)
- www.aulavirtual.csic.es
- www.csicenlaescuela.csic.es

Propósito de la investigación

Una vez que los niños han descubierto la evaporación y que el agua está hecha de moléculas, pueden ser encaminados a descubrir otro fenómeno fundamental implicado en el ciclo del agua: la condensación.

Preparación y elaboración de las actividades de investigación

Las maestras debatieron con los niños e hicieron preguntas:

- *¿Qué es un experimento?*
- *¿Por qué la gente hace experimentos?*
- *¿Dónde podemos hacer un experimento?*
- *¿Para qué necesitamos los experimentos?*

Los niños eran muy curiosos y dieron varias respuestas a las preguntas.

El camino experimental: descubriendo los falsos conceptos

Hicimos un experimento con una lata que habíamos guardado en la nevera. Cogimos la lata de la nevera y la pusimos sobre la mesa. Los niños observaron la lata. Pronto notaron la aparición de gotas de agua en la lata.

Las maestras lanzaron una pregunta:

- ¿De dónde ha venido ese agua?

Como los niños han trabajado el proceso de evaporación y también el hecho de que el agua está formada por moléculas, contestaron que las moléculas que había en el aire se habían pegado a la lata para formar gotas.

El profesor dio un nombre a este proceso: condensación.

1. Representamos el proceso de condensación en los dibujos.
2. Tomamos un vaso, colocamos pequeños pedazos de hielo dentro y vertimos agua fría. Las gotas de agua comenzaron a



Figura 7. Observando la condensación del agua.

aparecer fuera del vaso. El vapor de agua se condensó del aire para formar gotas de agua. Jugamos el juego *Warm Cold* (Caliente Frío).

Evaluación final de la actividad

Los niños aprendieron que el vapor de agua al condensarse forma gotas de agua. Al principio, los niños tenían algo más de dificultad para comprender el significado de la evaporación y la condensación debido, principalmente, a sus conceptos erróneos, pero los experimentos facilitaron la comprensión de estos conceptos. Jugamos el juego llamado *Vapour and Droplets* (Vapor y Gotitas).



Figura 8. Representación de la condensación por un niño de 5 años.

3.5. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 5: DE DÓNDE VIENE EL AGUA?

El proyecto de investigación duró en torno a 3 días. Las actividades fueron organizadas por dos maestras de Infantil y participaron en el proyecto 38 niños. Los niños tienen entre 4 y 6 años y son creativos y entusiastas. Son conscientes de las reglas y las explican a los demás. Los niños disfrutaban mucho de las actividades que requieren habilidades manuales. Trabajaron en grupos de dos a cinco niños.

Los recursos utilizados durante la realización del proyecto son los siguientes:

- www.imandra.lt/project/zydrojo-laselio-kelione-i-zeme/
- El libro "Žydrojo lašelio kelionė"
- <http://eilerastukaivaikams.blogspot.lt/2014/11/pasaka-apie-debeseli.html>
- www.youtube.com/watch?v=fKCXU8P6aaQ<http://www.kidzone.ws/water/bactivity1.htm>
- www.youtube.com/watch?v=TWb4KIM2vts
- www.aulavirtual.csic.es/
- www.csicenlaescuela.csic.es/
- Un frasco
- Agua hirviendo
- Un plato
- Bolsa de plástico transparente
- Rotuladores de punta
- Cubos de hielo

Propósito de la investigación

Debido al camino constructivista que se ha llevado a cabo con los experimentos anteriores, trasladamos el modelo a la naturaleza para llegar a entender cómo se produce el ciclo del agua y cómo la evaporación, la condensación y la precipitación son parte fundamental del mismo.

Preparación y elaboración de las actividades de investigación

Principales etapas y descubrimiento de los falsos conceptos:

- Debate. Las maestras inician una conversación con los niños para analizar lo que saben sobre el ciclo del agua.
- La maestra lee el cuento *The Journey of the Drop* y un poema corto: *Cloud*. Los niños

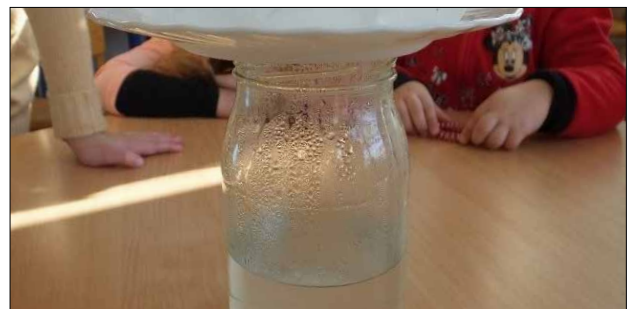
están muy interesados en la investigación y la maestra les invita a participar.

- Como los niños han trabajado la evaporación y la condensación previamente, tienen una idea clara de lo que sucede en la naturaleza según describe el cuento y el poema.

El camino experimental

Hicimos un experimento cuyo nombre fue Cómo fabricar lluvia. Los niños tomaron un vaso con agua tibia, pusieron un plato en la parte superior del vaso y esparcieron cubos de hielo en el plato. Observaron la formación de gotas de agua en el interior del plato. Habían reproducido lluvia (con algunos elementos que ayudaron a acelerar el experimento).

Para afianzar el experimento, los niños tomaron rotuladores y dibujaron el sol, las nubes y el agua en unas bolsas transparentes que les proporcionaron las maestras. Vertimos agua

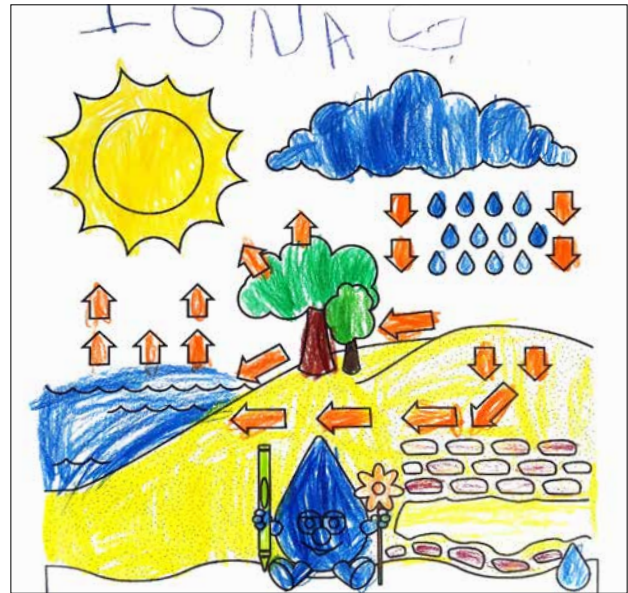


Figuras 9 y 10. Experimento *Cómo producir lluvia*.

de color dentro de la bolsa y al día siguiente tuvimos la oportunidad de observar el proceso.

Evaluación final de la actividad

- Los niños hicieron los experimentos y participaron activamente en las actividades. Ellos entendieron el proceso de evaporación y condensación. Cuando la maestra hizo las mismas preguntas en el debate al final de las actividades, obtuvo más respuestas y los niños explicaron el proceso de evaporación y condensación más fácilmente.
- El agua se evapora constantemente pero el proceso se acelera cuando hace sol.
- Las moléculas de agua se evaporan y van al aire. Las moléculas se unen formando gotas que se adhieren a partículas y se convierten en nubes.
- Hace frío en las nubes y cuando las gotas son demasiado grandes, caen en forma de lluvia o nieve.
- La precipitación penetra en el suelo y fluye de regreso a los ríos y mares;
- El ciclo del agua tiende a repetirse.



Figuras 11 y 12. Representaciones de los niños sobre el ciclo del agua.

KPCEN (BYDGOSZCZ, POLONIA), EL CSIC EN LA ESCUELA (ESPAÑA). ¿DE QUÉ ESTÁ HECHO EL MUNDO?

1. INTRODUCCIÓN

Este material es una propuesta dirigida a los profesores de las primeras etapas de la educación, con el fin de ayudarles en la enseñanza de la ciencia en el aula.

El proyecto *¿De qué está hecho el mundo?* está dirigido a los niños y niñas con el fin de que construyan representaciones mentales de la parte del mundo natural que nuestros ojos no pueden ver, como puede ser el concepto de fuerza. El agua, por ejemplo, es un elemento muy cercano a los niños. Éstos descubrirán las propiedades y el comportamiento del agua en relación con otros materiales mediante la experimentación y siguiendo un enfoque constructivista.

Nota para los docentes: Estas actividades deben ser realizadas por los niños. Al final del proceso, el alumnado debe representar el conocimiento que ha adquirido en sus cuadernos con sus dibujos. Incluso si no saben dibujar bien en estas etapas, seguramente pueden representar lo que piensan. Es muy importante comprobar si han construido ellos mismos el conocimiento sobre el comportamiento del agua; es sólo en sus mentes donde ocurren los cambios y avances en la manera de pensar sobre el mundo natural.

2. EXPERIMENTOS

2.1. EXPERIMENTO 1. AGUA


OBJETIVO

Descubrir y conceptualizar las fuerzas de cohesión y adherencia



PREPARACIÓN

Materiales necesarios: un vaso con agua.

TAREA	
Mantener un poco de agua entre los dedos	
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	
– ¿Qué percibes? – ¿Se puede sostener agua entre los dedos? – ¿Por qué se puede mantener el agua entre los dedos? – ¿Hay alguna fuerza en el agua?	
OBSERVACIÓN	
El agua "se pega" a los dedos.	
EXPLICACIÓN	
El agua se mantiene formando una gota que no se divide en otras gotas más pequeñas. Tienen que existir fuerzas entre el agua y el dedo. Además, debe existir alguna fuerza dentro de la gota.	

2.2. EXPERIMENTO 2. AGUA Y UNA TARJETA DE PLÁSTICO

OBJETIVO

Introducir las magnitudes en las fuerzas de adherencia comparándolas con el peso de unas monedas (número de monedas).

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

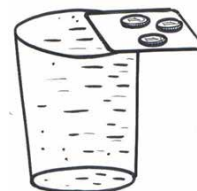
- Un vaso completamente lleno de agua (rasante).
- Tarjeta de plástico usada (tipo tarjeta bancaria).
- Unas pocas monedas del mismo tipo, por ejemplo de 50 céntimos.



Figura 1.

TAREA

- 1. Pon la tarjeta en la parte superior del vaso de agua rasante, tal y como se muestra en el dibujo.**
- 2. Pon una moneda en la tarjeta. Continúa poniendo monedas sobre la tarjeta, una a una.**



PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Qué aprecias?
- ¿Por qué se “pega” la tarjeta al agua?
- ¿Qué hace que se pegue la tarjeta al agua?
- ¿Qué fuerza hace que se “pegue” la tarjeta al agua?

OBSERVACIÓN

EXPLICACIÓN

Hay fuerzas de cohesión y adherencia:

- ADHERENCIA: Fuerzas entre el agua y la tarjeta (entre un material y otro material).
- COHESIÓN: Fuerzas dentro de la gota (o del agua) que sostienen el agua formando una gota (o agua).

2.3. EXPERIMENTO 3. AGUA Y UNA MONEDA

OBJETIVO

Estimar las fuerzas de cohesión y de adherencia.

PREPARACIÓN

Materiales necesitados:

- Un cuentagotas.
- Una moneda.
- Agua.



Figura 2.

TAREA	
<i>Pon gotas de agua con el cuentagotas sobre la moneda.</i>	
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	
<p>– ¿Qué aprecias?</p> <p>– ¿Cuántas gotas de agua caben en la moneda formando una gran gota?</p> <p>– ¿Hay fuerzas entre el agua y la moneda?</p>	
OBSERVACIÓN	
EXPLICACIÓN	
<p>• Existe una fuerza entre el agua y la moneda llamada adherencia (lo mismo que en el experimento 1, entre la gota y el dedo al igual que en el experimento 2, entre el agua y la tarjeta).</p> <p>- El agua se "pega" a otras sustancias.</p>	

2.4.A. EXPERIMENTO 4.A. DE LA GOTA DE AGUA A LA ELECTRICIDAD

OBJETIVO

Descubrir la naturaleza de esta clase de fuerzas.

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Un vaso de agua.
- Una barrita de plástico.
- Un poco de papel (de tipo cocina).

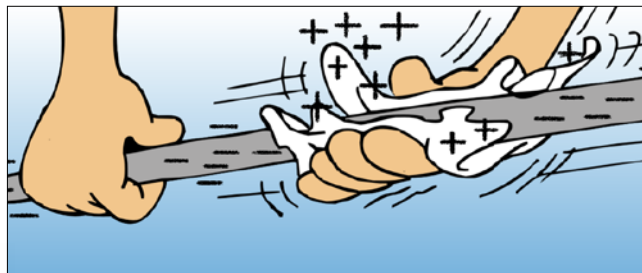
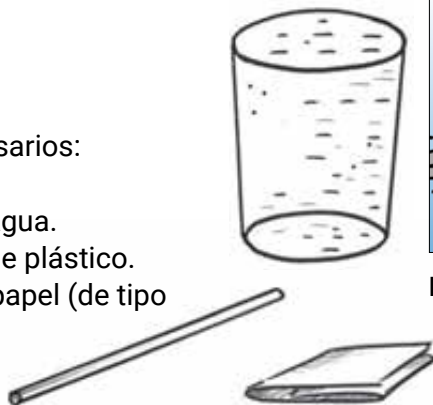


Figura 3.

TAREA		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Frota la barra de plástico con un poco de papel de cocina. 2. Acerca la barra de plástico electrizada a un fino chorro de agua. 		
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN		
<p>– ¿Qué ves?</p> <p>– ¿Por qué el chorro se aproxima a la barra electrizada?</p>		
OBSERVACIÓN		
<p> </p>		
EXPLICACIÓN		
<ul style="list-style-type: none"> • La barra está electrizada. • Hay una fuerza actuando entre el agua y la barra electrizada. • La fuerza es de atracción. 		

2.4.A. EXPERIMENTO 4.B. DE LA GOTA DE AGUA A LA ELECTRICIDAD

OBJETIVO

Descubrir la naturaleza de este tipo de fuerzas.

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Un vaso de agua.
- Un imán.

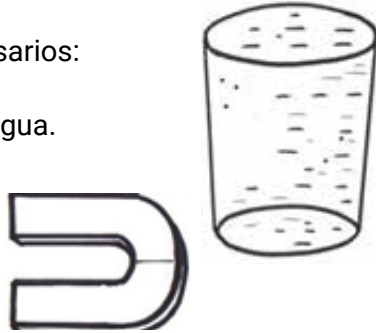


Figura 4. El imán no atrae el agua.

TAREA	
<i>Aproxima el imán a un fino chorro de agua.</i>	
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	
<i>— ¿Qué ves?</i> <i>— ¿Por qué el chorro no se aproxima al imán?</i>	
OBSERVACIÓN	
EXPLICACIÓN	
<ul style="list-style-type: none">• El imán no tiene ningún tipo de influencia en el chorro de agua.	Un diagrama que muestra un vaso de agua inclinado a la izquierda, vertiendo un chorro de agua hacia un imán en la parte inferior derecha. El agua cae directamente hacia abajo sin ser atraída por el imán.

2.5.A. EXPERIMENTO 5.A. LA BARRA DE PLÁSTICO Y EL PAPEL

OBJETIVO

Introducir las fuerzas eléctricas.

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Tocitos de papel.
- Una barra de plástico.
- Un trozo de papel de cocina.



Figura 5.

TAREA	
<ol style="list-style-type: none">1. Frota la barra de plástico con el trozo de papel de cocina.2. Acerca la barra a los pequeños trocitos de papel.	
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	
<p>– ¿Qué aprecias?</p> <p>– ¿Existe alguna fuerza entre los trozos de papel y la barra?</p>	
OBSERVACIÓN	
EXPLICACIÓN	
<ul style="list-style-type: none">• Hay una fuerza entre la barra cargada/ electrizada y los trocitos de papel.• La razón es la electricidad.	

2.5.B. EXPERIMENTO 5.B. EL IMÁN Y EL PAPEL

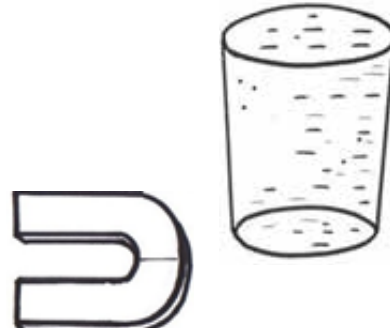
OBJETIVO

Introducir las fuerzas eléctricas.

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Trocitos de papel.
- Un imán.



TAREA	
<i>Acerca el imán a los trocitos de papel.</i>	Una ilustración que muestra un imán en forma de herradura superiormente, con una línea vertical que indica su posición. Debajo del imán, se encuentran trocitos de papel dispersos, lo que sugiere que no están siendo atraídos.
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	
<i>– ¿Qué aprecias?</i> <i>– ¿Existe alguna fuerza entre el imán y los papeles?</i>	
OBSERVACIÓN	
EXPLICACIÓN	
<ul style="list-style-type: none">• No sucede nada porque la fuerza magnética no se aplica en este caso.	

2.6.A. EXPERIMENTO 6.A. ELECTRIZAR UNA PAJITA

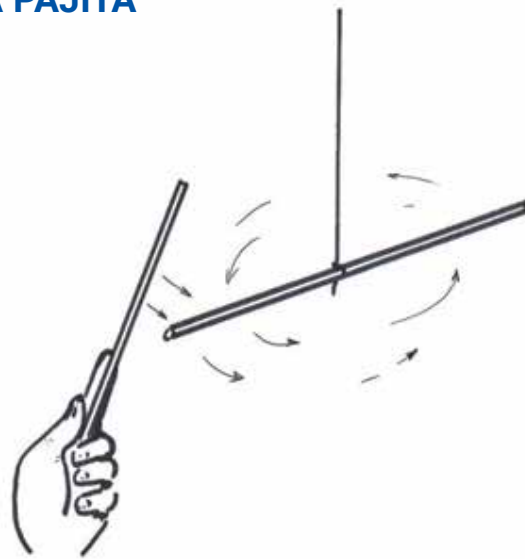
OBJETIVO

Descubrir las leyes de la electricidad.

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Pajitas de plástico.
- Un trozo de papel de cocina.
- Una cuerda fina.
- Un marcador.



TAREA

1. **Ata un trozo de cuerda en el medio de la pajita, como se muestra en el dibujo. Marca el final de la pajita con un marcador.**
2. **Frota la otra pajita con un trozo de papel limpio.**
3. **Acerca la pajita a la otra pajita en uno de sus extremos.**
4. **Frota el extremo de la pajita marcado con otro poco de papel.**
5. **Frota otra pajita con un papel nuevo.**

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Qué ves?
- ¿Por qué las dos pajitas del mismo tipo se influyen la una en la otra?

OBSERVACIÓN

Dos pajitas de plástico del mismo tipo se repelen la una a la otra.

EXPLICACIÓN

- Existe una fuerza entre las dos pajitas de plástico.
- La fuerza es negativa.

2.6.B. EXPERIMENTO 6.B. PAJITAS ELECTRIZADAS

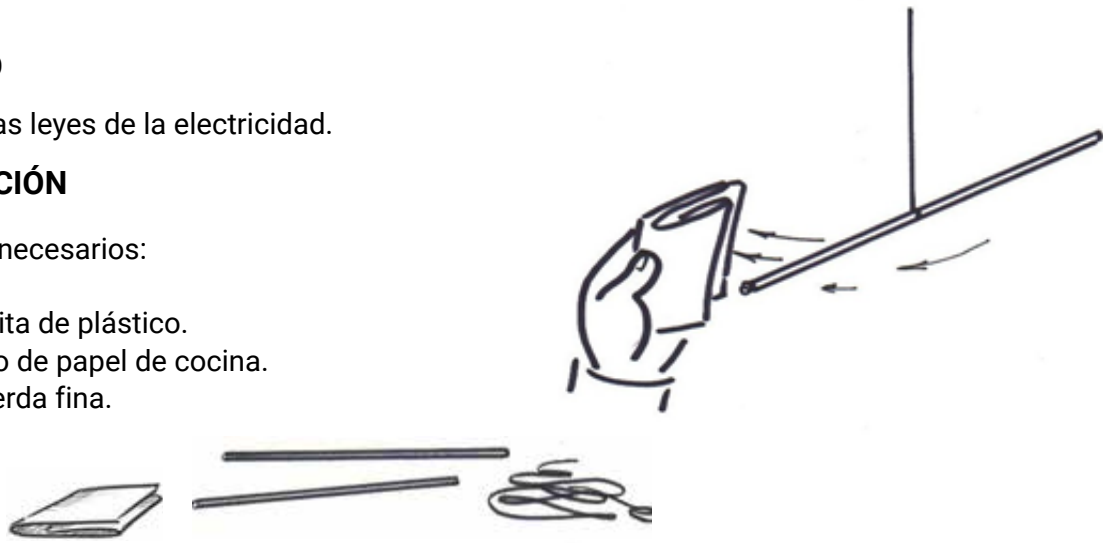
OBJETIVO

Descubrir las leyes de la electricidad.

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Una pajita de plástico.
- Un trozo de papel de cocina.
- Una cuerda fina.



TAREA

- 1. Ata un trozo de cuerda a la pajita por la mitad, como muestra el dibujo. Marca el final de la pajita con un marcador.**
- 2. Frota el extremo de la pajita con el papel.**
- 3. Acerca el trozo de papel a la pajita.**

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Qué ves?
- ¿Existe alguna fuerza entre el papel y la pajita?

OBSERVACIÓN

EXPLICACIÓN

Se produce una fuerza de atracción entre el papel y la pajita (contraria a lo que sucedía cuando en el experimento anterior se acercaban las dos pajitas).

2.7.A. EXPERIMENTO 7.A. UNA BARRA DE PLÁSTICO Y POMPAS DE JABÓN

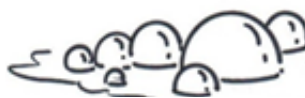
OBJETIVO

Comprobar si el agua es sensible a las fuerzas eléctricas.

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Agua con lavavajillas.
- Una barra de plástico.
- Un trozo de papel de cocina.
- Un pompero.



TAREA		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Moja la mesa con agua mezclada con detergente o con líquido de un pompero. 2. Haz unas pompas con la pajita sobre la mesa. 3. Frota la barra de plástico con un trozo de papel. 4. Acerca la pajita a las pompas de jabón. 		
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN		
<p>– ¿Qué aprecias?</p> <p>– ¿Existe alguna fuerza entre las pompas de jabón y la barra electrizada?</p>		
OBSERVACIÓN		
EXPLICACIÓN		
<ul style="list-style-type: none"> • Aparece una fuerza entre las pompas de jabón y la barra electrizada. • Esta fuerza es atractiva. 		

2.7.B. EXPERIMENTO 7.B. UN IMÁN Y POMPAS DE JABÓN

OBJETIVO

Comprobar si el agua es sensible a la fuerza magnética.

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Agua con lavavajillas.
- Un imán.
- Un pompero.



TAREA

1. **Moja la mesa con agua mezclada con lavavajillas o con líquido de un pompero.**
2. **Haz unas pompas con la pajita sobre la mesa.**
3. **Acerca el imán a las pompas de jabón.**



PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Qué aprecias?
- ¿Existe alguna fuerza entre las pompas de jabón y el imán?

OBSERVACIÓN

EXPLICACIÓN

No sucede nada porque la fuerza magnética no actúa sobre las pompas.

2.8. EXPERIMENTO 8. LA BARRA DE PLÁSTICO Y LA LATA DE METAL

OBJETIVO

Estudiar el comportamiento de otra clase de materiales (diferentes al agua) cuando se acerca un cuerpo electrizado.

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Una lata de metal vacía.
- Una barra de plástico.
- Un trozo de papel de cocina.

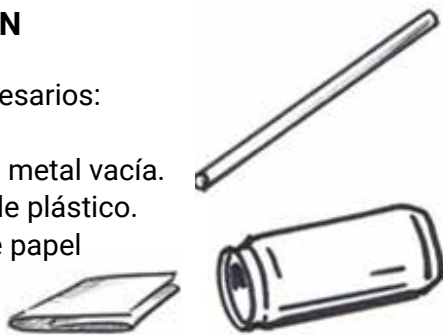


Figura 6.

TAREA		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Frota la barra de plástico con el trozo de papel. 2. Acerca la barra a la lata. 		
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN		
<p>– ¿Qué observas?</p> <p>– ¿Aparece alguna fuerza entre la barra y la lata?</p>		
OBSERVACIÓN		
<p>La lata se mueve, rueda.</p>		
EXPLICACIÓN		
<ul style="list-style-type: none"> • Aparece una fuerza entre la barra y la lata. • La fuerza es atractiva. 		

2.9. EXPERIMENTO 9. GLOBOS ELECTRIZADOS

OBJETIVO

Estudiar las fuerzas entre cuerpos electrizados.

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Una cuerda fina.
- Un trozo de papel de cocina.
- Dos globos.



TAREA		
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Infla dos globos.</i> 2. <i>Sujeta los globos con dos trozos de cuerda, tal y como indica la figura.</i> 3. <i>Frota uno de los globos con un trozo de papel de cocina.</i> 4. <i>Acerca los globos entre sí.</i> 		
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN		
<p>— ¿Qué aprecias?</p> <p>— ¿Por qué los dos globos del mismo material se influyen entre ellos?</p>		
OBSERVACIÓN		
<p>Los globos se repelen entre ellos.</p>		
EXPLICACIÓN		
<ul style="list-style-type: none"> • Aparece una fuerza entre los globos. • La fuerza es de repulsión. • Entre el globo y tu mano (o el trozo de papel), sin embargo, la fuerza es atractiva. 		

2.10. EXPERIMENTO 10. MOVIENDO ELEMENTOS

OBJETIVO

Estudiar las fuerzas entre un cuerpo electrizado y un cuerpo no electrizado (neutro).

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Un papel de cocina.
- Una barra de plástico.
- Un clip de metal sujeto con una cuerda fina.



TAREA		
<p>1. Frota la barra de plástico con un papel de cocina.</p> <p>2. Acerca la barra al clip suspendido por una cuerda en su extremo.</p>		
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN		
<p>– ¿Qué aprecias?</p> <p>– ¿Por qué se mueve el clip?</p>		
OBSERVACIÓN		
EXPLICACIÓN		
<p>El clip está hecho de metal y es neutro. Cuando frota la barra de plástico (negativa) y la acercas al clip (neutro), los electrones del metal "huyen" al otro extremo del clip (y aparece una fuerza atractiva). La razón es que los electrones (carga negativa) en los cuerpos metálicos se mueven libremente dentro del metal.</p>		

2.11. EXPERIMENTO 11. UNA LATA, UN CLIP Y UNA BARRA DE PLÁSTICO

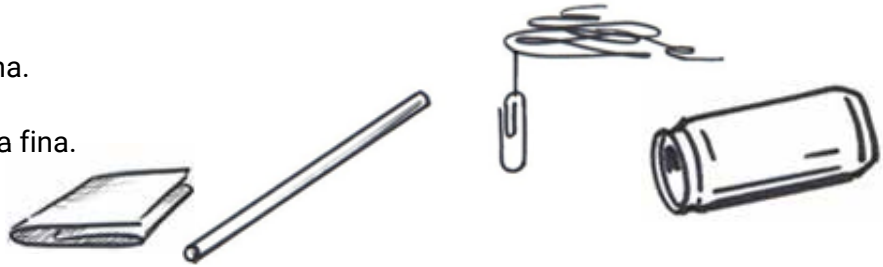
OBJETIVO

Explicar la atracción entre un cuerpo electrizado y un cuerpo neutro.

PREPARACIÓN

Materiales necesarios:

- Un trozo de papel de cocina.
- Una barra de plástico.
- Un clip sujeto a una cuerda fina.
- Una lata de metal vacía.



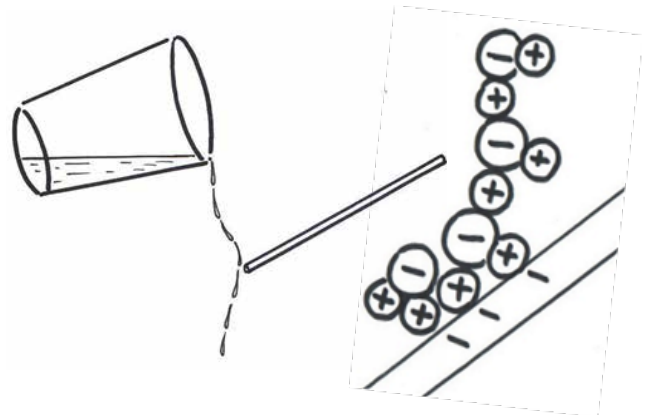
TAREA	
<p>1. Frota la barra con el trozo de papel.</p> <p>2. Acerca la barra al clip sustentado en la cuerda.</p> <p>3. Acerca la barra a la lata de metal apoyada sobre una mesa.</p>	
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	
<p>– ¿Qué aprecias?</p> <p>– ¿Por qué se mueve el clip?</p> <p>– ¿Por qué se mueve la lata?</p>	
OBSERVACIÓN	
EXPLICACIÓN	
<p>El motivo es el mismo. Cuando la barra electrizada se acerca a un cuerpo metálico, los electrones "huyen" al otro lado del clip y de la lata.</p>	

2.12. EXPERIMENTO 12. REPETICIÓN DEL EXPERIMENTO 4.A: DE LA GOTA DE AGUA A LA ELECTRICIDAD

¿Por qué la barra frotada atrae el chorro de agua? ¿Ocurre lo mismo en el caso de los trozos de papel, el clip o la lata? La respuesta es no. La razón está en la naturaleza de las moléculas de agua. Las moléculas de agua están polarizadas, por lo que las dos moléculas positivas de hidrógeno son atraídas por el palo frotado negativamente. No es igual que en los metales o en el caso del papel.

Para saber más sobre moléculas:

Imagina una gota de agua. Ahora imagina esa gota dividida en muchas otras gotas diminutas, y esas gotas diminutas en otras gotas más pequeñas y más pequeñas, hasta que obtengas una gota tan pequeña que ya no se pueda dividir. Acabas de obtener una molécula de agua.



ESCUELA INFANTIL P34 "MALI ODKRYWCY" (BYDGOSZCZ, POLONIA).

DESCUBRIENDO LAS FUERZAS DE COHESIÓN Y ADHERENCIA

1. INTRODUCCIÓN DEL COORDINADOR

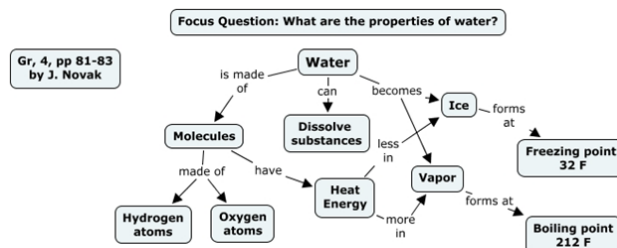
Las investigaciones llevadas a cabo por la Escuela Infantil "Mali Odkrywcy" (Pequeños Exploradores) van encaminadas a que los alumnos y alumnas lleguen al descubrimiento de la existencia de unas fuerzas que no se ven con nuestros ojos pero que están presentes en la naturaleza: fuerzas de adherencia y fuerzas de cohesión. Para ello, han llevado a cabo una serie de experimentos en los que, siguiendo el método constructivista y el camino de la pregunta, parten de las características del agua para después experimentar y descubrir cómo el agua se adhiere a otras sustancias (cogiendo agua entre dos dedos y con el experimento de la tarjeta) y cómo el agua en estado líquido se mantiene unida gracias a las fuerzas de cohesión (experimento de las gotas en la moneda). Estos hechos favorecen la introducción del concepto de molécula de agua a la vez que permite descubrir la existencia de un fenómeno natural: la tensión superficial (experimento del clip en el agua).

Este camino elegido por las docentes es el principio del descubrimiento del modelo científico del agua: las moléculas de agua están unidas entre sí por las fuerzas de cohesión y se unen a otras sustancias por las fuerzas de adherencia.

2. METODOLOGÍA COMÚN UTILIZADA EN TODOS LOS EXPERIMENTOS: EL MAPA DE NOVAK

A partir de la década de 1970, Novak y su equipo de investigación en Cornell desarrollaron la técnica del mapa conceptual como un medio para representar el conocimiento científico emergente de los estudiantes. Posteriormente, se ha utilizado como una herramienta para mejorar el aprendizaje significativo en las ciencias y otras materias, así como para representar el conocimiento tanto de individuos como de equipos en educación, gobierno y empresas.

Ausubel consideraba que el aprendizaje de nuevos conocimientos se basa en lo que ya se sabe. Es decir, la construcción del conocimiento comienza con nuestra observación y reconocimiento de actividades y objetos a través de conceptos que ya tenemos. Aprendemos construyendo una red de conceptos y agregando nuevos conceptos a esta red. Ausubel también enfatiza la importancia del aprendizaje por descubrimiento, y el aprendizaje significativo más que memorístico.



3. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: DESCUBRIENDO LA COHESIÓN, ADHERENCIA Y LA TENSIÓN SUPERFICIAL

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 1: INVESTIGANDO LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

El título de esta actividad es *Jugando con agua: descubriendo las principales características del agua*.

Las actividades (1, 2 y 3) se llevaron a cabo en el jardín de infancia 34 "Pequeños exploradores" en Bydgoszcz. Las profesoras que lideran el proyecto son Beata Zawada y Barbara Krakowska, que trabajaron con 25 niños de entre cinco y seis años: 11 niñas y 14 niños.

Todos los debates durante el proyecto se basaron en el uso del método socrático. El método socrático se basa en que los maestros preguntan a los niños de una manera progresiva, con unas preguntas aparentemente inocentes que finalmente conducen al alumnado a una conclusión lógica incompatible con la creencia original de los niños.

Material utilizado en el experimento de investigación

Jarras con agua, zumo de naranja en una taza transparente, 2 contenedores de diferentes formas, 2 tazas (una con vinagre y otra con agua), pizarra para resumir el avance de la investigación, monedas, pipeta, tarjeta magnética, regla, pimienta.

Literatura empleada

1. S.Elbanowska. Jak zadziwić przedszkolaka. Tym, co świeci, pływa, lata. W- wa 1994.
2. G.Walter. Woda – żywioty w przedszkolu. Kielce 2004.
3. S.Hewitt. Przygoda z przyrodą – zabawy i eksperymenty. Wyd.Podsiedlik – Kaniowski i Spółka 2000.
4. <https://www.aulavirtual.csic.es>.
5. <http://www.csicenlaescuela.csic.es>.

En total, la investigación se llevó a cabo en 24 horas, incluyendo: preparación, adquisición de los materiales, investigación, ejecución del experimento, dibujos de los niños sobre el experimento, conclusiones.

Propósito de la investigación

El objetivo principal del proyecto es aprender y consolidar los conocimientos básicos de los niños sobre el agua. Los niños realizan experimentos con agua y aprenden sobre el papel de la misma en la naturaleza.

Elaboración y preparación de las actividades

Primero, los profesores estudiaron el tema. Los docentes tomaron notas, consultaron entre ellos, planearon actividades, buscaron los medios necesarios y establecieron un orden para realizar las actividades planificadas.

Un día antes del experimento, los profesores les preguntaron a los niños qué es realmente el agua, cuál es su olor, su color y el sabor del agua. ¿El agua tiene alguna forma?

Los niños dieron diferentes tipos de respuestas. Algunos de ellos dijeron que el agua es blanca o azul, que sabe a sopa, que es salada, que tiene un sabor horrible, que tiene la forma de una jarra o una botella.

La importancia de la indagación en el trabajo de investigación: La Naturaleza de la Ciencia e Indagación (NOSI)

Posteriormente, los niños comenzaron a experimentar. Todos los niños vierten un poco de agua de la botella a los vasos transparentes. Los alumnos ponen objetos detrás de la taza para comprobar si estos son visibles. En efecto, se veía a través del agua.



Figuras 1 y 2.

En el siguiente paso, los niños probaron el agua y llegaron a la conclusión de que el agua no tiene sabor. En la siguiente etapa, los niños vierten agua en recipientes de diferentes formas.

Al llegar a este punto la maestra hizo una pregunta: *¿Cuál es la forma del agua?*

Algunos niños respondieron que el agua no tiene forma; otros dijeron que tiene forma de jarra.

Descifrando los falsos conceptos

La maestra vertió un poco de agua de la jarra en el suelo y volvió a preguntar lo mismo. Los niños exclamaron que "el agua no tiene forma". Así, verificaron la "forma del agua" vertiendo agua en recipientes de diferentes formas y tamaños.



Figura 3.

Evaluación final de la actividad

Finalmente, investigando, los niños encontraron las respuestas a las preguntas sobre la forma, el olor, el color y el sabor, y respondieron correctamente las respuestas en la pizarra.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 2: COHESION Y ADHERENCIA

Materiales utilizados

Los medios utilizados en el trabajo de investigación han sido la tarjeta magnética, la pipeta, las monedas, la regla, las gafas y, por supuesto, el agua.

Bibliografía

1. S.Elbanowska. Jak zadziwić przedszkolaka. Tym, co świeci, pływa, lata. W- wa 1994.
2. G.Walter. Woda – żywioły w przedszkolu. Kielce 2004
3. S.Hewitt. Przygoda z przyrodą – zabawy i eksperymenty. Wyd.Podsiedlik – Kaniowski i Spółka 2000.
4. <https://www.aulavirtual.csic.es>.
5. <http://www.csicenlaescuela.csic.es>.

Propósito de la investigación

A través de la experimentación, los niños llegan a conocer el fenómeno de que el agua se adhiera a otras sustancias, llegando a descubrir las fuerzas de adhesión y cohesión. Posteriormente, llegan a descubrir la teoría molecular. Los pasos son:

1. Descubrir que existen fuerzas de cohesión y adhesión.
2. Preguntas que conducen el camino de la investigación.

Elaboración y preparación de actividades de investigación

El grupo de docentes pasó por una serie de formaciones realizadas por los coordinadores



Figura 4.

en Madrid y en Polonia. Los maestros compartieron ideas entre ellos, planearon actividades, buscaron los medios necesarios y diseñaron los experimentos para guiar a los niños.

Un día antes del experimento, los profesores preguntaron a los niños por qué se puede sostener agua entre los dedos y por qué una gota de agua no se cae de la tarjeta magnética.

Los niños dieron varias respuestas:

- Los dedos sostienen a la gota de agua.
- Porque la gota está pegada a los dedos.
- La tarjeta se pega al vidrio.
- El agua retiene la tarjeta.

Juntos comenzamos a buscar respuestas llevando a cabo los experimentos.

La importancia de la indagación en el trabajo científico: La naturaleza de la investigación científica (NOSI)

El experimento que los maestros eligieron para despertar la curiosidad de los niños sobre el tema fue sostener una gota de agua entre los dedos.

Observación. Debate sobre el tema *¿Por qué el agua se pega a los dedos?*

Los niños responden:

- *El agua se pega a los dedos.*
- *El agua está pegada entre los dedos.*

Sucede porque:

- *El agua es pegajosa.*
- *Los dedos son pegajosos.*
- *Una gota es muy pequeña y ligera.*

Descubriendo los falsos conceptos

Para descubrir los conceptos erróneos, los maestros presentan otro experimento. En la tarjeta magnética los estudiantes vierten una gota de agua y luego ponen la tarjeta boca abajo. La gota permanece en la tarjeta. *¿Por qué sucede? ¿Por qué no se cae la gota de la tarjeta?*

Las maestras presentan las fuerzas de adherencia a los niños (las moléculas de agua se adhieren a materiales diferentes) y la cohesión (las moléculas de agua presentan fuerzas entre sí para permanecer unidas).

Evaluación final de la actividad

Los niños experimentan con dos monedas, una grande y una pequeña. Con la ayuda de una pipeta, los niños colocan gotas, una a una, sobre la superficie de las monedas. *¿Por qué las gotas no se caen? ¿Por qué se adhieren unas a otras? La gota no se cae debido a las fuerzas de cohesión y adherencia. Gracias a eso, las gotas se adhieren a las superficies de la carta y la regla.*

Los alumnos que realizaron experimentos adicionales a estos pudieron identificar, nombrar y señalar las fuerzas de cohesión y adherencia.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 3.1: DESCUBRIENDO LA TENSIÓN SUPERFICIAL

Medios utilizados

Los materiales empleados en el experimento de investigación han sido: jarras con agua, vasos de precipitado, pimienta, pipeta, clips, agujas, jabón de lavavajillas, globos, imagen de mosquito.

Bibliografía

1. S. Parker. Woda. Eksperymenty i doświadczenia. Warszawa 2006
2. P. Ashbrook. Nauka jest prosta. Kielce 2003
3. U. Berger. Księga eksperymentów. Kielce 2008
4. <https://www.aulavirtual.csic.es>.
5. <http://www.csicenlaescuela.csic.es>.

Propósito del proyecto de investigación

El objetivo principal de esta actividad de investigación fue consolidar los conocimientos básicos que tienen los niños sobre el agua. El alumnado debe saber que el agua tiene una especie de "piel" gracias a la cual algunos insectos pueden posarse en la superficie del agua.

Elaboración y preparación de actividades de investigación

Antes de iniciar la actividad, las docentes investigaron sobre el tema. Tomaron notas, compartieron ideas, planearon las actividades, buscaron los medios necesarios para realizarlas y establecieron un orden para realizar las actividades planificadas.

Un día antes del experimento, las maestras preguntaron a los niños:

- *¿Permanecerá el clip en la superficie del agua?*
- *¿Puede nadar el clip?*
- *¿Por qué el mosquito se puede sostener en la superficie del agua?*

Los niños ofrecieron diferentes respuestas. Algunos dijeron que el clip se hundiría, otros dijeron que el clip iba a nadar, que nadaría porque es ligero; algunos niños creen que el clip se hundirá porque está hecho de metal; otros niños pensaban que el mosquito puede caminar en el agua porque tiene zapatos especiales; otros, porque es muy ligero; otros, que se sostiene porque tiene unas patas muy largas.

La importancia de la investigación en el proceso: La naturaleza de la investigación científica (NOSI)

Los niños comenzaron a experimentar. Cada alumno vertió un poco de agua en un vaso y trató de poner un clip sobre el agua. Observaron y sacaron conclusiones. Algunos niños pudieron poner el clip, otro pequeño grupo de niños no pudieron hacer que el clip se sostuviera. Fijándose en cómo lo hacían sus amigos, continuaron experimentando.



Figuras 5, 6 y 7.

La maestra hizo una pregunta: *¿Por qué el clip "flota" en el agua?*

Algunos niños respondieron que "flota" porque es ligero o delgado, no pesa mucho y por ello, permanece en la superficie.



Figura 8.

Descubriendo los falsos conceptos

La maestra mostró a los niños un insecto: un mosquito que apoya sus patas en el agua y puede sostenerse sobre ella sin hundirse. Explicaron que el agua tiene una especie de "piel", que no es muy fuerte. Debajo de las patas del mosquito se observa levemente la flexión de la "piel". La maestra llegó con los alumnos al modelo de la "piel del agua" y explicó el experimento.

El siguiente paso del experimento fue poner el clip en la superficie del agua en el vaso. No todos los niños tuvieron éxito en hacer esta tarea. La maestra sugirió usar una herramienta: utilizar un clip doblado que se usó como una "cuchara" gracias a la que los niños pudieron apoyar el clip en el agua. Todos los estudiantes finalmente lograron hacerlo.

Evaluación final de la actividad

Tras la realización del experimento, los niños sacaron conclusiones y compartieron sus observaciones con sus amigos y sus maestras. Entendieron lo que es la tensión superficial y cómo ese conocimiento podría aplicarse a otras situaciones de sus vidas (por ejemplo, al echar pimienta en el agua). Los alumnos siguen investigando...



Figura 9.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 3.2: ROMPIENDO LA TENSIÓN SUPERFICIAL

Medios utilizados en el experimento de investigación

Pimienta, lavavajillas, globo.

Bibliografía

1. S.Elbanowska. Jak zadziwić przedszkolaka. Tym, co świeci, pływa, lata. W- wa 1994.
2. G.Walter. Woda – żywoły w przedszkolu. Kielce 2004.
3. S.Hewitt.Przygoda z przyrodą – zabawy i eksperymenty. Wyd.Podsjedlik Kaniowski i Spółka 2000.
4. S. Parker. Woda. Eksperymenty i doświadczenia. Warszawa 2006.

5. P. Ashbrook. Nauka jest prosta. Kielce 2003.
6. U. Berger. Księga eksperymentów. Kielce 2008.
7. <https://www.aulavirtual.csic.es>.
8. <http://www.csicenlaescuela.csic.es>.

Propósito del proyecto de investigación

A través de la experimentación, los niños comprueban que el agua tiene una "piel" que no es muy fuerte y se puede romper fácilmente.

Elaboración y preparación de las actividades de investigación

El grupo de docentes pasó por una serie de formaciones científicas impartidas por el equipo de El CSIC en la Escuela en Madrid y Polonia. Las maestras compartieron ideas entre ellas, planearon las actividades, buscaron los medios necesarios y establecieron el camino de la investigación.

Un día antes del experimento, las maestras trabajaron con sus alumnos su conocimiento sobre el agua y preguntaron a los niños si la piel del agua es fuerte o si se puede romper fácilmente.

Los niños dieron varias respuestas: un grupo de niños afirmó que la piel es muy fuerte y elástica y que no se puede romper. Otros niños creen que es muy delgada y se puede romper fácilmente. La maestra propuso experimentar para comprobar cómo es la piel del agua.



Figuras 10, 11 y 12.

La importancia de la investigación: La naturaleza de la investigación científica (NOSI)

El experimento que los profesores eligieron para despertar la curiosidad de los niños sobre el tema fue poner un poco de pimienta en la superficie del agua.

Observación, discusión sobre el tema: *¿Qué pasa con la pimienta cuando la ponemos en el agua?*

Los niños responden:

- La pimienta se hundirá.
- La pimienta flotará.

Sucede porque:

- El agua tiene piel.
- Es ligera.
- Es pequeña.

Descubriendo los falsos conceptos

Para descubrir los conceptos falsos que manejan los niños, las maestras presentaron otro experimento. Los alumnos ponen un poco de pimienta en el vaso de precipitado. Observan lo que sucede. Después, agregan un poco de jabón de lavavajillas con la ayuda de una pipeta. La pimienta se hunde.

La maestra pregunta qué pasó con la pimienta: por qué se ha ido al fondo del vaso. Todos los niños respondieron correctamente. La piel del agua se ha roto.

Evaluación final de la actividad

Para evaluar los conocimientos que habían adquirido los alumnos, éstos experimentan con monedas. Sumergen algunas monedas en los vasos llenos de agua rasante y observan lo que sucede. La maestra introdujo el concepto de menisco a los estudiantes. Todos los estudiantes contaron las monedas y observaron el menisco. Siguieron echando monedas hasta que el agua se derrama. La maestra preguntó qué pasó y todos los estudiantes respondieron que la piel del agua se rompió.

4. LAS CONCLUSIONES FINALES

Los alumnos después de realizar más experimentos condicionados por sus maestras, pudieron concluir que la "piel" que cubre el agua no es muy fuerte y los objetos pesados caen al fondo. Algunos objetos se pueden poner fácilmente en la "piel" sin romper la tensión superficial. Como conclusión final, los niños y niñas obtienen un modelo analógico: el modelo de la piel del agua.

COLEGIO PÚBLICO SAN FRANCISCO (PAMPLONA, ESPAÑA).

DESCUBRIENDO LAS FUERZAS DE COHESIÓN Y ADHERENCIA

1. INTRODUCCIÓN DEL COORDINADOR

El Colegio San Francisco, en Pamplona, es un ejemplo de enseñanza dentro del modelo bilingüe en España en el que conviven el euskera y el castellano, junto con el inglés como lengua extranjera. Es interesante en este centro educativo ver cómo independientemente del modelo que sigan los alumnos y alumnas, la ciencia unifica culturas y propicia la igualdad de género. En este caso, al tratarse de niños y niñas de Primaria, los docentes han llegado a las magnitudes implicadas en los fenómenos que han investigado, adherencia y cohesión, no sólo cualitativamente, sino también cuantitativamente. Comienzan conceptualizando el concepto de fuerza experimentando con un clip y un imán. Continúan el proceso de investigación cogiendo una gota de agua entre los dedos para llegar a descubrir las fuerzas de adherencia y cohesión. Para seguir conceptualizando estas fuerzas, realizan otros experimentos (experimento de la tarjeta y de las gotas en una moneda), utilizando un lenguaje adecuado y aplicando las leyes correspondientes. Posteriormente con un dinamómetro determinan la fuerza de adherencia de un vidrio y un CD a una mesa pasando así de la observación a las magnitudes. En una segunda parte de la investigación y como evaluación, introducen un modelo analógico (observan qué sucede en una lata que sacan del frigorífico) que ayuda a entender el comportamiento de la superficie del agua para terminar dramatizando

las fuerzas de cohesión y adherencia. Con este camino constructivista, los niños y niñas llegan al modelo molecular del agua y entienden qué sucede a nivel submicroscópico a partir de la observación del mundo macroscópico que sí es visible para sus sentidos.

2. METODOLOGÍA COMÚN EMPLEADA EN TODAS LAS ACTIVIDADES

Antes de iniciar el proceso de investigación con el alumnado se elabora el mapa conceptual sobre la naturaleza, señalando el nivel inferior requerido o nivel de significación de Ausubel. El mapa tiene una estructura constructivista, que indica el camino experimental necesario para introducir los diferentes conceptos. Partiendo del nivel de conocimientos previos necesarios (nivel de Ausubel) del alumnado se inicia la investigación.

Era necesario partir de los siguientes conceptos: distancias, longitudes, superficies y volúmenes (según la etapa cognitiva de los alumnos y alumnas).

Estados de la materia: sólido, líquido y gas; cambios de estado: evaporación y condensación.

Propiedades de los líquidos que los diferencian de los sólidos y los gases.

Propiedades específicas del agua.

¿Qué es una fuerza?

Conceptualización de una fuerza.

3. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Descripción

La investigación se ha realizado en las cuatro aulas de 3^{er} bloque de primaria (5^o y 6^o) más un aula de 2^o bloque (3^o) de los dos modelos lingüísticos que conviven en el colegio: el euskera y el castellano. De los 95 alumnos/as que han participado, 50 corresponden al modelo euskera y 45 al castellano, siendo el resultado de la investigación el mismo en ambos modelos. Consideramos importante decir que los 45 del modelo AG (castellano) es alumnado socio-desfavorecido, ISEC (Índice Social Económico y Cultural) bajo, algunos con desconocimiento del idioma vehicular (castellano) y algunas personas presentan conductas disruptivas y absentismo escolar.

Los 50 alumnos del modelo D. (euskera) son familias normalizadas, sin absentismo ni conductas disruptivas. ISEC medio- medio/alto.

También consideramos importante decir que no hemos observado diferencias significativas por sexos, siendo aproximadamente 50% de cada uno en el conjunto del alumnado y participando tanto niños como niñas en los experimentos propuestos. Las sesiones se realizaron a lo largo de un trimestre escolar siendo los docentes implicados aquellos que impartían las asignaturas de ciencia. Se realizaron los experimentos en sesiones internivelares entre 3^o y 6^o. Este hecho permitió que los alumnos

mayores ayudaran a los más pequeños y a la vez, los pequeños motivaran a los mayores. La actitud de todos ellos durante la investigación fue de una motivación total.

El título completo de la investigación es: *De qué está hecho el mundo: descubriendo las fuerzas de adherencia y cohesión en el caso del agua y aplicando la teoría molecular simple para explicarlas.*

Objetivo de la investigación

El objetivo que nos propusimos fue realizar el recorrido que va desde el descubrimiento de las fuerzas de cohesión y adherencia hasta la teoría molecular de la materia aplicada al agua. Se trata de descubrir “de qué está hecho el mundo” observando el comportamiento de las fuerzas de adherencia y de cohesión del agua.

Las preguntas que establecieron el camino de la investigación son:

- *¿Qué tipo de fuerzas son las responsables de las fuerzas de cohesión y adherencia?*
- *¿En qué otros procesos aparecen?*
- *¿Existen leyes que resuman el comportamiento del agua en relación con estas fuerzas?*

Para contestar a estas preguntas debemos pensar en experimentos cuyos resultados nos permitan conocer las respuestas (camino de la pregunta):

- *¿Qué experimentos podemos realizar para contestar a estas preguntas?*
- *¿Cómo es realmente el agua a nivel submicroscópico?*

Medios empleados y bibliografía

Los medios utilizados en esta actividad son: pipetas, agua, tarjetas, clips, monedas, un imán, latas de refresco, dinamómetros, portas, CD.

La bibliografía básica empleada ha sido la Web del Aula Virtual del CSIC (www.aulavirtual.csic.es) en la que se encuentran los contenidos de la formación ofrecida al principio del proyecto y la Web de El CSIC en la Escuela (www.csicenlaescuela.csic.es).

Descripción del camino de la investigación. De qué está hecho el mundo: descubriendo las fuerzas de adhesión y cohesión en el caso del agua y aplicando la teoría molecular simple para explicarlas

El camino que hemos seguido es un camino constructivista en el que, mediante la realización de varios experimentos sucesivos y relacionados, observaremos un fenómeno natural que nos permitirá seguir investigando.

En primer lugar, conceptualizamos la fuerza para pasar a averiguar los conocimientos previos de los alumnos, introducir nuevos conceptos (fuerzas de adhesión y cohesión) y evaluar esos conocimientos mediante la realización de otros experimentos a la vez que se introduce la medida.

Primera parte: Observación de un proceso natural y cotidiano

Aprovechando un día de lluvia, los alumnos y alumnas observan un fenómeno natural: las gotas de lluvia en la ventana.

A continuación se inician las preguntas:

- *¿Cómo son las gotas?*
- *¿Por qué son esféricas?*
- *¿Cómo se sujetan a la ventana?*
- *¿Por qué se escurren?*

Seguidamente, iniciamos el cuaderno científico. Cuando hayan llegado por sí mismos y mismas a darse cuenta de que siempre presentan forma redondeada/esférica, lo anotarán en el cuaderno científico. El cuaderno científico, además, favorece el desarrollo de otras competencias, como la competencia lingüística al tener que describir los fenómenos que están observando.

EXPERIMENTO 1. CONCEPTUALIZACIÓN DE LA FUERZA: INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE FUERZA: IMÁN Y CLIP

El experimento consiste en situar un imán cerca de un clip unido a un hilo y sujeto por los dedos de la mano, como se indica en la fotografía. Al soltar el clip, este es atraído por el imán y se desplaza por el espacio hasta quedar unido a él. Si alejo el imán, el clip cae hacia el suelo, por efecto de la fuerza de la gravedad.

Los y las docentes preguntan al alumnado ¿Qué fuerzas actúan sobre el clip? El alumnado da diferentes respuestas.

Algunos responden de forma correcta y otros no saben qué está pasando. La realidad es que actúan dos fuerzas: la de la gravedad y la de atracción magnética. Ambas son fuerzas a distancia, ya que ni la Tierra ni el imán están en contacto con el clip. En cambio, la cuerda actúa

sobre el clip por contacto, igual que los dedos de la mano sobre la cuerda. Cuando el clip está quieto es porque las fuerzas de la gravedad (peso), la de atracción magnética y la de la cuerda se compensan, dando una resultante nula.

Como se trata de alumnos de Primaria, podemos llegar a descubrir que la fuerza es una magnitud vectorial que produce movimiento (aceleración) en los cuerpos. Cuando un cuerpo se encuentra en reposo es debido a que la suma de fuerzas que actúa sobre él es nula.

EXPERIMENTO 2. EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS PREVIOS: LA GOTA ENTRE LOS DEDOS ÍNDICE Y PULGAR

Se pide a los alumnos que describan, con sus propias palabras, el experimento. Así descubriremos su nivel de conocimientos y la existencia de falsos conceptos. Estos falsos conceptos se deconstruirán por métodos experimentales.

Aplicamos el concepto de fuerzas de contacto a los procesos de cohesión y adherencia, aunque a los alumnos y alumnas aún no se les ha dicho el nombre de estas fuerzas que se describen como:

Fuerzas de cohesión: son fuerzas que unen las partes de un mismo material, una gota de agua a otra gota de agua.

Fuerzas de adherencia: son fuerzas que aparecen entre dos materiales distintos, como las que unen una gota de agua a la piel de los dedos. Esta se produce cuando adherimos una gota de agua con otro material.

Descripción de los resultados experimentales: los niños describen los resultados observados:

- *La gota de agua se adhiere a la piel de los dedos.*
- *La gota de agua no se rompe, sino que se comporta como un cuerpo elástico.*

Los nuevos conceptos que se introducen al alumnado son:

- La fuerza de adherencia es la que aparece entre el agua y la piel.
- La fuerza de cohesión es la que aparece entre una porción de agua y otra.

EXPERIMENTO 3. ASIMILACIÓN DE LAS FUERZAS DE COHESIÓN Y ADHERENCIA

Los alumnos deben entender la existencia de dos fuerzas que actúan en sentidos contrarios. Cuando la gota se alarga demasiado, las fuerzas de adherencia que la mantienen unidas a los dedos son mayores que las de cohesión y la gota se divide en dos. Las dos mitades quedan unidas a cada uno de los dos dedos.

Así pues, enunciaremos dos leyes que rigen el comportamiento que hemos observado:

- **Primera ley:** Las gotas de agua tienen tendencia a unirse a las superficies de los sólidos, por efecto de la fuerza de adherencia.
- **Segunda ley:** Las gotas de agua o partes de una gota, tienen tendencia a unirse unas a otras por las fuerzas de cohesión.

EXPERIMENTO 4. EVALUACIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS: LA GOTA EN LA BOCA DE UN CUENTAGOTAS

El experimento consiste en cargar con agua un cuentagotas y presionar lentamente la goma de manera que se observe la gota aumentando de tamaño y estirándose hasta desprenderse de la boca del cuentagotas.

¿Qué observamos? La respuesta de los alumnos es inmediata: cambia de forma y tamaño.

Seguimos investigando: ¿Pasa esto con otros líquidos? ¿Por qué se cae?

Se trata de una competición entre las fuerzas de adherencia, que mantienen la gota unida al tubo y las fuerzas de gravedad, que tienden a hacerla caer.

EXPERIMENTO 5. FUERZAS ENTRE UNA SUPERFICIE DE UN MATERIAL Y UN LÍQUIDO

Antes de realizar el experimento, se plantea a los niños y niñas una cuestión:

¿De qué dependen las fuerzas de cohesión y adherencia?

Los niños y niñas lanzan diferentes respuestas. Comprobamos que la magnitud de las fuerzas de adherencia entre un líquido y un sólido dependen del tipo de material de que se trate y para ello, en este experimento utilizamos una gota de agua y superficies planas de distintos materiales: cobre, plásticos, una lata de refresco, vidrio de ventana, etc. Los alumnos y alumnas ven que, dependiendo del material de

la superficie, la gota se comporta de manera diferente y adquiere formas distintas.

La forma que adquieren en equilibrio depende de la magnitud de las fuerzas de cohesión y de la magnitud de las fuerzas de adherencia a la superficie. Si estas no existieran, la gota sería perfectamente esférica. Si no existiesen fuerzas de cohesión, el agua se adheriría a la superficie tomando una forma plana.

Dependiendo de la naturaleza del material de la superficie las gotas adquieren diversas formas.

EXPERIMENTO 6. DETERMINAR DE UNA MANERA SEMICUANTITATIVA LA MAGNITUD DE LAS FUERZAS DE ADHERENCIA Y RELACIONARLAS CON LA MAGNITUD DE LAS FUERZAS DE COHESIÓN

El experimento consistió en observar la forma de las gotas y en correlacionar esta forma con el ángulo que es necesario inclinar la superficie para que la gota comience a deslizarse por efecto de la gravedad. Cuanto más plana aparezca la gota, más importantes son las fuerzas de adherencia a la superficie respecto a las de cohesión, y más habrá que inclinar el plano para que la gota comience a deslizarse hacia abajo.

EXPERIMENTO 7. GOTAS DE AGUA EN UNA MONEDA

A partir de este experimento, los alumnos deben utilizar los conocimientos adquiridos, utilizando correctamente las palabras (conceptos) y aplicando las leyes correspondientes.

El experimento consiste en colocar una moneda sobre una mesa e ir depositando con un cuentagotas muy lentamente, gotas de agua sobre su superficie. Todos los alumnos deben utilizar el mismo tipo de moneda (50 céntimos de euro, por ejemplo) y limpiar con agua y jabón la moneda antes de comenzar el experimento. Con el cuentagotas vamos depositando agua gota a gota y observamos qué ocurre, a la vez que las contamos. Llega un punto en el que el agua adquiere una forma voluminosa e incluso se sale un poco de los bordes sin caerse.

¿Qué sucede? ¿Cómo es posible?



Figura 1. ¿Qué sucede? ¿Cómo es posible?

Observamos con ayuda de una lupa la forma de la enorme gota de agua que se ha formado sobre una cara de la moneda. Cuando llevan una cantidad suficiente, se les llama la atención sobre la forma que está adoptando el agua (algunos alumnos y alumnas ya lo han dicho). Deben darse cuenta de la forma esférica que adopta el agua sobre la moneda.

Se indica a los alumnos/as que echen unas pocas gotas más más. Todos se agachan colocando los ojos a la altura de la mesa y observan de frente la forma que va adoptando el agua. La describen como una gota muy aplanada. Llega un momento en que el agua sobresale del borde de la moneda y sin



Figuras 2 a 5. Experimento 7.

embargo no se desborda. Cuando ya se echan demasiadas gotas, finalmente, las fuerzas de cohesión entre los bordes de la moneda y el

agua no pueden soportar el peso del agua de la gota deformada y ésta se derrama.

Observamos con ayuda de una lupa la forma de la enorme gota de agua que se ha formado sobre una cara de la moneda.

EXPERIMENTO 8. UNA NUEVA MAGNITUD, LA TENSIÓN SUPERFICIAL. LA TARJETA EN EL VASO DE AGUA

El experimento consistió en llenar un vaso de vidrio o plástico transparente hasta el borde y colocar con mucho cuidado para que no se moje la superficie superior, una tarjeta de plástico de las que se utilizan como tarjetas de crédito o como llaves electrónicas en los hoteles. La mitad de la tarjeta estaba situada dentro del vaso y en contacto con el agua y la otra mitad estaba fuera de la circunferencia del borde.

El experimento consistió en ir colocando fichas de parchís o monedas de un céntimo de euro en la parte exterior de la tarjeta, observando lo que ocurría en la superficie del agua unida a la tarjeta.

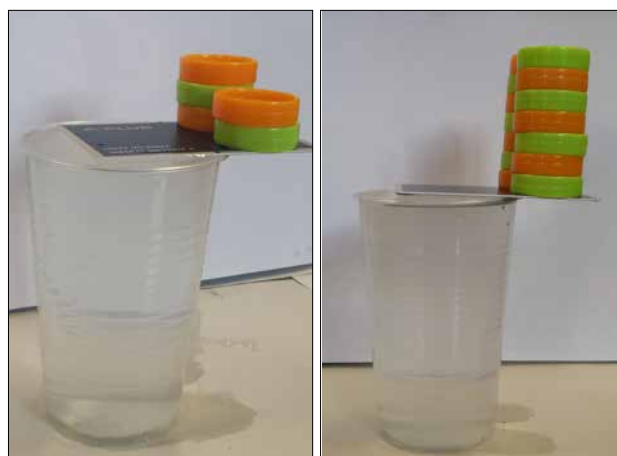
El conjunto actúa como una balanza, en la que un platillo es la parte exterior de la tarjeta y sobre la que colocamos pesos, y el otro platillo o parte de la tarjeta permanece unido al líquido por fuerzas de cohesión entre la tarjeta y el agua.

La superficie del agua se va deformando y se resiste a romperse, comportándose como si se tratase de una superficie elástica, como la de una cama sobre la que se puede saltar.

Ahora es el momento de dar un nombre a esa observación que los alumnos y alumnas acaban

de hacer. El comportamiento que hace que la superficie se pueda estirar y deformar como si fuese de goma y se opone a romperse se define como la tensión superficial del líquido. Y se debe a la fuerza de cohesión entre unas partes y otras de la superficie del líquido.

El número de monedas o fichas de parchís necesarias para que la tarjeta se caiga, rompiendo la superficie del agua (es decir, venciendo a la tensión superficial) nos da una



Figuras 6 a 9. Experimento 8.

idea de su magnitud. Contando las fichas o monedas necesarias para vencer esa fuerza, se introduce una medida cuantitativa.

Así, el alumnado llegó a un modelo analógico: el agua se comporta como si tuviese una especie de piel elástica que lo rodease y que es responsable del comportamiento de su superficie.

EXPERIMENTO 9. MEDIDA CUANTITATIVA DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL: FUERZA ENTRE UNA SUPERFICIE DE VIDRIO Y LA SUPERFICIE DE UNA MESA

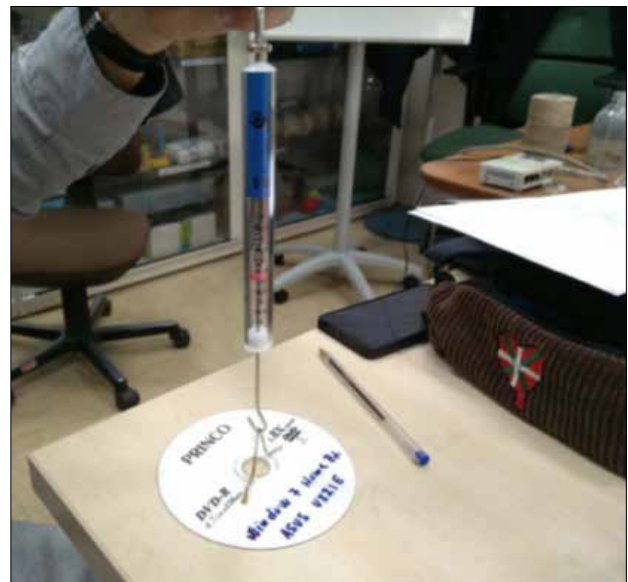
El siguiente experimento es una continuación del anterior. La idea es medir de una manera más precisa. Derramamos agua sobre una mesa de manera que se forma una superficie húmeda muy delgada y sobre ella colocamos un porta de microscopio o un cuadrado de vidrio de dimensiones conocidas y con las superficies no cortantes.

A continuación, intentamos separar el vidrio de la mesa, observando que es muy difícil, ya que ha aparecido una fuerza entre ambos que no existía en ausencia del agua.

Podemos medir la fuerza entre dos superficies planas unidas por una lámina de agua:

Podemos utilizar un dinamómetro (aprovechamos para introducir este instrumento de medida de la fuerza) para determinar la fuerza con que se adhiere el vidrio a la mesa, e imaginar

cómo se deforma la superficie del agua que los une: de una manera semejante a cómo se deformaba la superficie del agua que unía la tarjeta de crédito al agua del vaso en el ejemplo anterior.



Figuras 10 y 11. Experimento 9.

SEGUNDA PARTE: EVALUACIÓN FINAL. ELABORACIÓN DE UN MODELO TEÓRICO QUE EXPLIQUE EL COMPORTAMIENTO DEL AGUA EN CONTACTO CON SUPERFICIES DE SÓLIDOS: LA TEORÍA MOLECULAR

Vamos ahora a introducir un modelo analógico que ayude a entender (explique) el comportamiento de la superficie del agua: modelo de piel elástica.

Colocamos un bote de refresco muy frío sobre un plato y observamos que se cubre de gotas de agua que se deslizan por su superficie y forman un charco en el plato.

Es como si se recuperase del aire de la atmósfera parte del agua que se encuentra en ella, producto de la evaporación del agua del mar, de los charcos y piscinas, de la ropa rendida o de la respiración, y de miles de procesos parecidos.

Pero nosotros no vemos el agua que se encuentra en el aire. ¿Cómo es posible? Los alumnos/as acaban admitiendo que el agua se encuentra en el aire en forma de gotitas tan pequeñas que no las podemos ver. La gotita más pequeña de agua en el aire la llamamos molécula. Estas moléculas las podemos representar como queramos, por ejemplo en forma de bolitas muy pequeñas.

Esto nos lleva a formular una hipótesis en forma de modelo de agua: el agua está formado por bolitas submicroscópicas muy pequeñas que no podemos ver a simple vista y que se atraen unas a otras (cohesión) y que se sienten atraídas por las superficies (adherencia).



Figura 12. Modelización de átomos.

Vamos a poner a prueba nuestro modelo teórico intentando explicar con él algunos de los resultados experimentales obtenidos en la primera parte.

Por ejemplo, en el caso de las monedas y las gotas de agua, buscamos una superficie (un cajón boca abajo serviría o una mesa) y se definirá que cada alumna/a es una molécula y el cajón es la moneda.

La 1ª gota, sube al cajón cómodamente, luego la 2ª y 3ª gota. La 4ª gota sube con dificultad pero es agarrada por sus compañeras. La quinta gota ya no puede subir y además, hace caer a todas las demás.

Esta dramatización asienta el modelo de qué ocurre a nivel microscópico en la moneda cuando echamos gotas.

Se invita a los alumnos/as a que expliquen qué ha sucedido con el modelo que ya tienen. La respuesta es que están actuando las fuerzas de cohesión (entre ellos/as) y de adherencia (con la superficie de la mesa). Cada alumnos/a modeliza que se comportan como las moléculas de agua que se cohesionan unas a otras para mantenerse unidas formando esa gota sobre la superficie de la moneda hasta que actúa una fuerza mayor (en este caso el peso de la propia gota) que hace que el agua se derrame.

El modelo teórico funciona. Nos sirve para imaginarnos lo que ocurre a nivel submicroscópico y que explica el comportamiento del mundo macroscópico que es visible para nuestros sentidos. Lo aceptamos provisionalmente como nuestro modelo científico, que habrá que seguir completando.

ESCUELA INFANTIL "ASUNDUSE LASTEAED" (TALLIN, ESTONIA).

DEL AZÚCAR A LA ELECTRICIDAD

1. INTRODUCCIÓN DEL COORDINADOR

Las actividades llevadas a cabo por el Centro educativo de Estonia Tallina Asunduse Lastead se basan en un modelo pedagógico que permite investigar a los alumnos y alumnas sobre algunos fenómenos naturales en Educación Infantil. Para ello, han empleado el agua como elemento cotidiano para descubrir algunas leyes del modelo molecular de la materia. El experimento inicial ha consistido en disolver agua en azúcar para que comprobasen que aunque el azúcar se ha disuelto en el agua no ha desaparecido, pues al probar el agua, comprueban que el azúcar sigue ahí. El siguiente paso fue observar, dejando el vaso de agua y el azúcar unos días, que el agua no está en el vaso pero el azúcar sí. A esas edades, los niños y niñas ya saben que las cosas no desaparecen sin más, con lo que terminan aceptando que el agua que había en el vaso ha pasado al aire, aunque no se vea. Se inicia así el descubrimiento de los cambios de estado para introducir el concepto de molécula.

Otra investigación que llevaron a cabo fue sobre fenómenos electrostáticos. Partieron de un experimento muy sencillo: frotar un globo y acercarlo a su pelo. La idea era descubrir la aparición de una fuerza atractiva como es la electricidad e iniciar el camino de la investigación para descubrir sus leyes. Con este proyecto las docentes buscaban que los niños descubriesen, de nuevo, cómo ver lo que nuestros ojos no ven. En el caso anterior eran las moléculas y en este

caso son las cargas eléctricas.

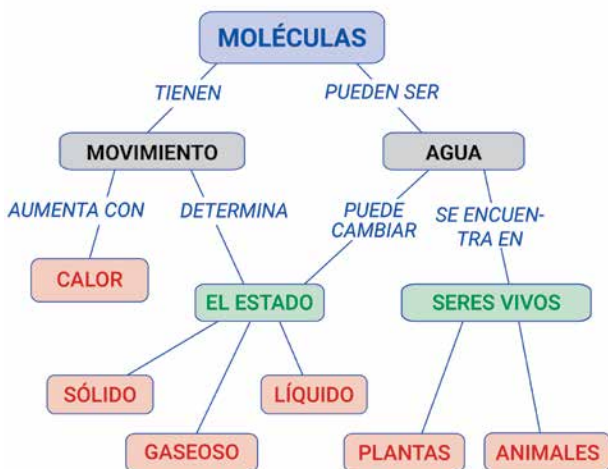
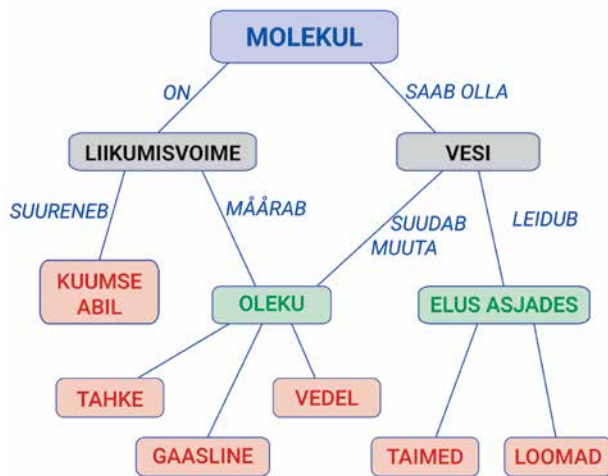
Es interesante en este trabajo, observar cómo los niños y niñas representan las moléculas antes de la investigación (como monstruos, flores etc.) y cómo las representan (acorde al "modelo de bolitas" que se juntan para formar el agua líquida y se separan cuando se evaporan) tras la investigación. Así, estos niños entre 5 y 7 años demuestran que son capaces de ver lo que no se ve mediante las representaciones mentales de los modelos que van construyendo del mundo que les rodea.

2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

A partir de la década de 1970, Novak y su equipo de investigación en Cornell desarrollaron la técnica del mapa conceptual como un medio para representar el conocimiento científico de los estudiantes. Posteriormente se ha utilizado como una herramienta para aumentar el aprendizaje significativo en las ciencias y otras materias, así como para representar el conocimiento de los individuos y de los equipos en la educación, el gobierno y las empresas.

Ausubel cree que el aprendizaje de nuevos conocimientos se basa en lo que ya se sabe. Es decir, la construcción del conocimiento

comienza con nuestra observación y reconocimiento de eventos y objetos a través de conceptos que ya tenemos. Aprendemos al construir una red de conceptos y agregar unos sobre otros. Ausubel también enfatiza la importancia del aprendizaje por descubrimiento y del aprendizaje significativo, más que el memorístico.



3. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 1: ¿DÓNDE HA IDO EL AZÚCAR?

Descripción de la actividad

El experimento se llevó a cabo en la escuela infantil "Asunduse" de Tallin, con niños con edades entre los 5 y los 7 años.

Las que guiaron la investigación fueron las profesoras Eneli y Kristel. En total, hubo 11 niños, 6 de ellos chicos y 5 niñas.

Los medios utilizados en el experimento de investigación fueron: azúcar, agua fría y caliente, jarra de vidrio, cuchara, vasos de plástico, envases de poliestileno (como para cacahuetes) en dos colores distintos.

Bibliografía utilizada:

1. Murulaid, R., Piirsalu, E., Vacht, P., Vaino, K.; Loodusõpetus 7. klassile; [2016]; Estonia.
2. Available online: <http://opik.fyysika.ee/index.php/book/view/21#/section/8604>
3. Tännan, M.; Loodusõpetus 7. klassile. Sissejuhatus füüsikasse ja keemiasse; [2010]; Estonia.
4. Aula Virtual CSIC: <https://www.aulavirtual.csic.es>.
5. El CSIC en la Escuela: <http://www.csicenlaescuela.csic.es>.

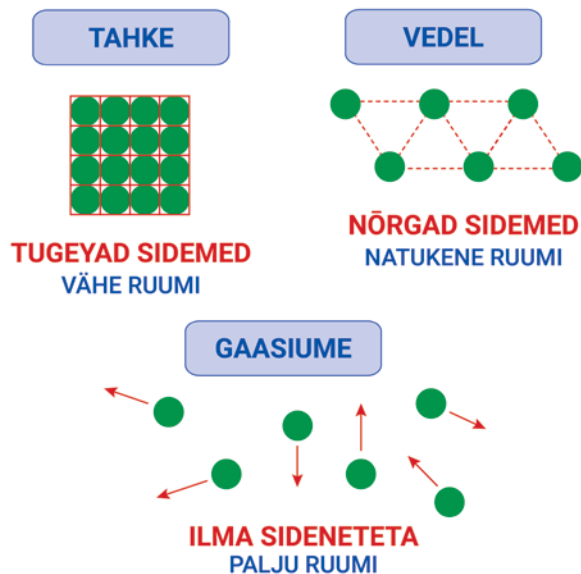
Todo el debate durante el proyecto se basó en el uso del método socrático. El método socrático se basa en que las maestras preguntan a los niños una serie de preguntas aparentemente

inocentes que finalmente conducen al alumno a una conclusión lógica que era incompatible con la creencia original de los niños.

En total, el proyecto se realizó en 24 horas, incluyendo la preparación, adquisición de suministros, investigación, realización del experimento, dibujos de los niños sobre el experimento y conclusiones.

Propósito de la investigación

El propósito del proyecto de investigación es descubrir la existencia de moléculas, investigar la naturaleza de las mismas y llegar a la teoría molecular.



Elaboración y preparación de las actividades de investigación

Primero, las maestras investigaron el tema científico. Las docentes tomaron notas, consultaron entre ellas, planearon actividades, buscaron los medios necesarios y establecieron el orden para realizar las actividades planificadas.

Un día antes del experimento, las maestras preguntaron a los niños de qué estaba hecho el mundo en su opinión y si las moléculas tendrían algo que ver con eso. Las maestras pidieron a los niños que dibujaran lo que ellos pensaban.

El día del experimento, las maestras fueron al aula para poner todos los medios necesarios y despertar el interés de los niños sobre las actividades.

Los niños no habían escuchado nada sobre las moléculas antes. Algunos de los ellos pensaban que las moléculas podían ser monstruos y uno de los niños, incluso, decía que las moléculas podían tener dientes.

La naturaleza de la investigación científica (NOSI)

1. **Observación.** Debate sobre el tema: ¿Qué sucede cuando agregamos algo de azúcar en un vaso lleno de agua?

Niñas y niños:

- El azúcar se diluye dentro del agua.
- El agua diluye todas las cosas.
- No, no se mezcla todo. La mesa tampoco se disuelve .
- Es diferente en agua fría que en agua caliente.
- El agua se vuelve dulce. El agua se convirtió en una roca.
- El agua fría no es dulce. El sabor es diferente.
- El azúcar no se pierde.

2. Experimentación

Los niños ponen cubos de azúcar en agua fría.

Un niño remueve el agua con una cuchara. ¿Qué sucede?

Niños y niñas:

- Cuando lo removemos, tenemos que removerlo como 50 horas para que se derrita el azúcar.
- No, no se tarda tanto.
- Ahora parte del azúcar ya se ha ido.



Figuras 1 y 2. Meten terrones de azúcar en el agua.

Los niños agregan agua hirviendo al agua fría. Un niño revuelve con la cuchara. ¿Qué sucede?

Niños:

- Hay algunas piezas pequeñas.
- No puedo ver eso.
- ¿A dónde ha ido el azúcar?
- Se ha evaporado lejos.
- Ahora el azúcar se va mucho más rápido.



Figura 3. No podemos ver el azúcar.

3. Resumen de los resultados

Después de hacer los experimentos y conducir a los niños por el camino diseñado por las maestras, comenzó el debate sobre las moléculas. *Moléculas: ¿Qué son? ¿Cómo se mueven?*

- Una molécula es la unidad más pequeña de una sustancia que tiene todas las propiedades de esa sustancia. Por ejemplo, una molécula de agua es la unidad más pequeña que todavía es agua.
- Las moléculas de agua caliente se mueven más rápido que las frías.
- El azúcar y el agua no tienen la misma densidad.



Figura 4. Sólido (como un terrón de azúcar).

- Este tipo de solución líquida está compuesta de un soluto sólido, que es el azúcar, y un solvente líquido, que es el agua. A medida que las moléculas de azúcar se distribuyen uniformemente por el agua, el azúcar se disuelve.

¿Cómo se mueven las moléculas en agua o en azúcar?

¡Hagámoslo! La investigación continúa. ¿Cómo se verán las moléculas si agregamos un poco de azúcar en un vaso lleno de agua?

4. Hipótesis

Niños:

— El azúcar todavía está en el agua —un niño no tenía idea de lo que podría pasar.



Figura 5. Líquido (como el agua).



Figura 6. Azúcar.



Figura 7. Saboreando el agua.

5. Probando la hipótesis en el laboratorio

¿Cómo podemos estar seguros de que el azúcar todavía está en el agua? ¡Vamos a oler y a probar!

- Los niños huelen el agua. *¿Cómo huele?*

Niños:

- *Huele a agua.*
- *Huele a lo que tiene que oler.*

- Los niños prueban el agua. *¿A qué sabe?*

Niños:

- *No tiene sabor.*
- *Me gusta cómo sabe.*
- *No hay sabor en absoluto.*
- *El agua tiene el sabor habitual.*

- Los niños huelen el agua con azúcar. *¿Cómo huele?*

Niños:

- *Todavía no huele.*
- *Nada ha cambiado.*

- Los niños prueban agua azucarada. *¿A qué sabe?*

Niños:

- *Esto es muy dulce.*
- *Esto es demasiado dulce.*
- *El azúcar existe.*

6. Explicación proporcionada por la hipótesis

Los niños ofrecen una serie de respuestas al hecho de que el azúcar no haya desaparecido, lo que se ha comprobado al probarla previamente:



Figura 8.

- El azúcar cambia de sólido a líquido.
- Los terrones de azúcar se separaron.
- El azúcar se disolvió y salió a la superficie.
- El azúcar permanece en el agua.
- Las partículas de azúcar son tan pequeñas que no podemos verlas.

Evaluación final de la actividad

Para ver si el azúcar está en el agua o no, dejamos en una estantería una jarra con 150 ml de agua y 12 terrones de azúcar.

Los niños ven a diario cómo va quedando menos agua, es decir, se va evaporando. Esperan ansiosos el resultado final

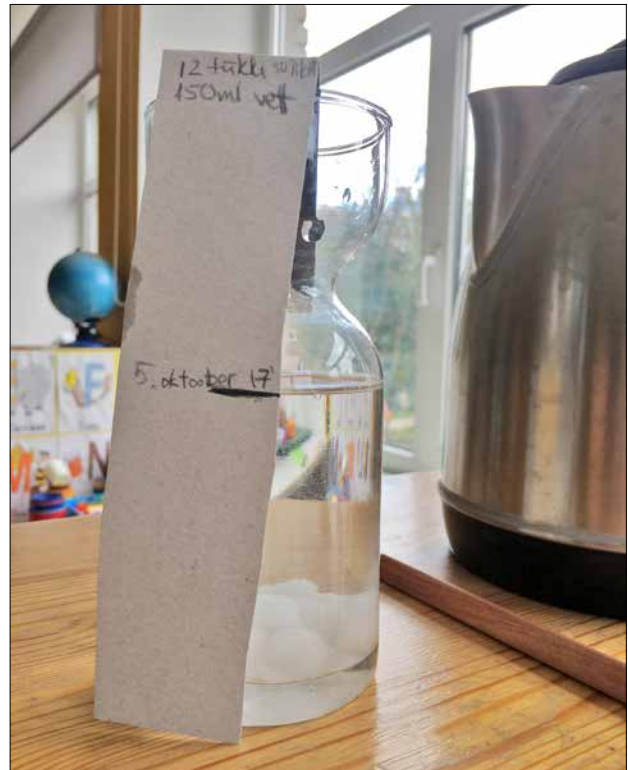


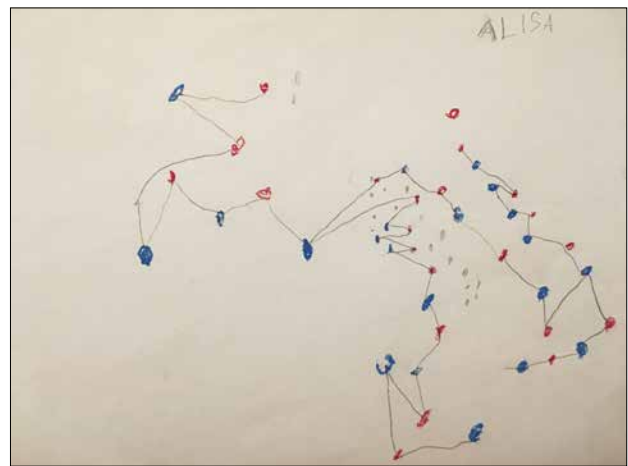
Figura 9.

Un día después del experimento, las profesoras preguntaron a los niños de qué estaba hecho el mundo en su opinión y cómo las moléculas podrían estar vinculadas a esta cuestión. Los maestros les pidieron a los niños que dibujaran lo que pensaban.

Hubo cinco niños que estuvieron en la escuela todos los días durante la fase de investigación (el primer día los niños dibujaban antes de hacer los experimentos, el segundo día los niños realizaron el experimento y el tercer día los niños dibujaban una nueva representación pero ya con conocimientos en el tema).

Los niños entendieron que las moléculas son muy muy pequeñas, por eso no podemos verlas con nuestros ojos.

Finalmente, llegaron al modelo molecular.



Figuras 10 y 11. Representaciones de las moléculas hechas por los niños.

4. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN N°2: DESCUBRIENDO LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA

Propósito de la investigación

El propósito del proyecto de investigación fue que los niños descubrieran, mediante la experimentación, la electricidad estática.

Descripción de la actividad

Recursos: globos, etiquetas con signos + y -.

En total, la experimentación duró en torno a 24 horas, incluyendo la preparación, adquisición de material, investigación, ejecución del experimento y las conclusiones finales dibujadas por los niños.

El experimento se llevó a cabo en la escuela infantil "Asunduse" de Tallin, donde la edad fue de 5 a 7 años. Las maestras que guiaron la investigación fueron Eneli y Kristel. En total,

realizaron la investigación 13 niños, 8 niños y 5 niñas.

Al igual que en el proyecto anterior, todos los debates se basaron en el uso del método socrático.

Biografía adicional

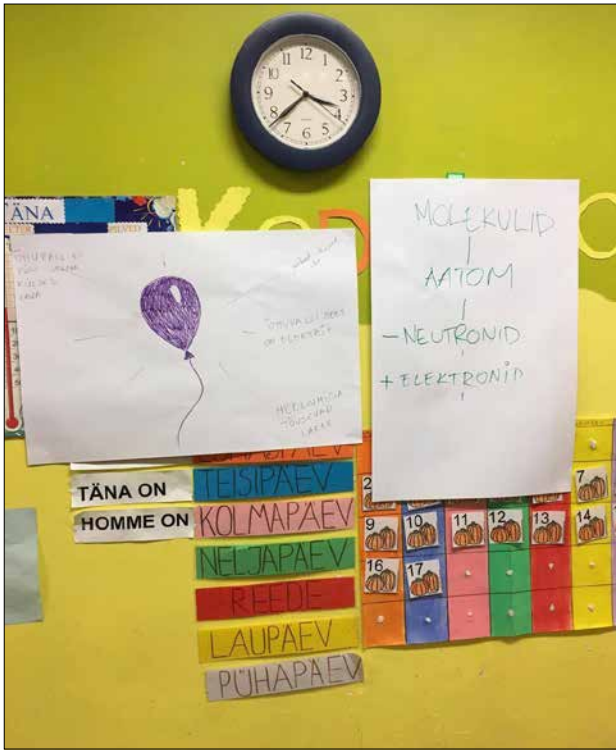
http://failid.koolibri.ee/koduleht/lehitseja/fysika_9_1/files/assets/basic-html/page4.html

Elaboración y preparación de las actividades de investigación

Primero, las maestras investigaron sobre el tema científico: tomaron notas, consultaron entre ellas, planearon las actividades, buscaron los medios necesarios y realizaron la planificación.

Un día antes del experimento, preguntaron a los niños qué pasa cuando frota un globo contra el pelo. Las maestras les pidieron a los niños que dibujaran lo que ellos creían.

El día del experimento, las maestras fueron al aula y dispusieron todo lo necesario para despertar el interés de los niños en las actividades.



Figuras 12 a 14.

Gracias a la experimentación previa sobre el azúcar, los niños sabían qué son las moléculas.

La Naturaleza de la Investigación Científica (NOSI)

1. Observación

Debate sobre el tema: ¿Qué sucede cuando nos frotamos el globo contra el pelo?

En esta actividad los niños descubren que entre el globo y el pelo aparece una fuerza. Esa fuerza que es eléctrica, provoca en los niños la discusión sobre qué materiales se atraen entre sí, cuando uno de ellos es frotado.

2. Experimentación

El camino de la investigación a partir de este fenómeno consistió en realizar una serie de

experimentos que ayudaron a descubrir las leyes de la electricidad.

En asamblea comentamos que esa fuerza de atracción entre el globo y el pelo sucede porque existe otra fuerza diferente y por eso se atraen (introducimos un concepto nuevo: atracción).

3. Iniciamos la investigación. Hipótesis y comprobación

Empezamos a investigar: cada niño llevaba un signo distinto para experimentar entre ellos y empezar a conceptualizar la idea de carga positiva y carga negativa y su representación con el signo + (positiva) y con el signo - (negativa), dramatizando que los que tenían signos diferentes se atraían y los de signo igual se tenían que repeler.

Después acercaron el globo frotado a la pared y comprobaron que el globo se quedaba "pegado" a ella.

Los niños y niñas dicen:

- *Nuestro cabello está subiendo hacia el globo.*
- *Hay un poco de electricidad en el globo.*
- *Aire.*
- *¿Por qué mi cabello se ensucia?*
- *¿Cómo entró la electricidad en el globo?*

Tras el debate en asamblea llegamos a unas conclusiones: las cargas de signos iguales se repelen y las de distintos signos se atraen. De esta manera fue fácil descubrir las leyes de la electricidad.



Figuras 15 a 17.

4. Evaluación final de la actividad

Les pedimos a los niños que hicieran otro experimento en casa. Se trataba de realizar más experimentos de electroestática donde ocurrieran los mismos fenómenos que ellos ya habían observado.

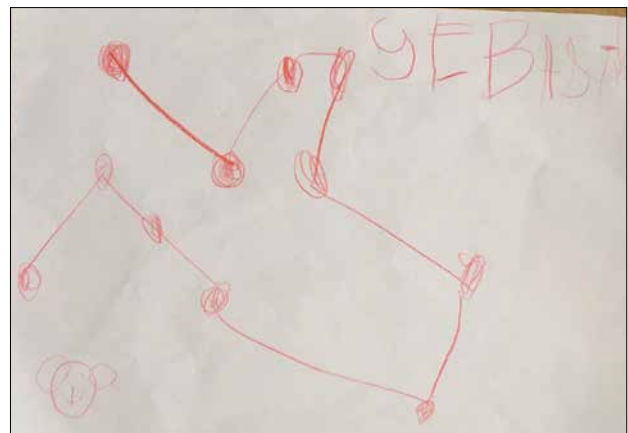
Así pues, les pedimos que frotaran un globo de nuevo y lo acercaran esta vez a un chorro de agua. Comprobamos que el agua se sentía atraída hacia el globo.

Los niños vinieron a la escuela después del experimento en casa y describieron lo que había sucedido. Algunos de ellos nos preguntaron: *¿Por qué? ¿Pero cómo puede el agua hacer zig zag?* Otros observaron que ocurría lo mismo que sucedía con el globo y el pelo.

En total, hubo 6 niños en la escuela durante el tiempo que se realizó la experimentación (el primer día los niños dibujaron antes de experimentar, el segundo día los niños y niñas llevaron a cabo el experimento y el tercer día los niños representan lo que han aprendido).

Finalmente nuestras conclusiones son que los niños asumen que:

1. Hay cargas eléctricas distintas y que obedecen a unas leyes.
2. Que forman parte del mundo que nuestros ojos no ven.
3. Pero para entender el experimento del globo y el chorro del agua hay que seguir investigando pues necesitan descubrir que las moléculas de agua son polares, es decir, tienen carga positiva y negativa.



Figuras 18 a 20.

