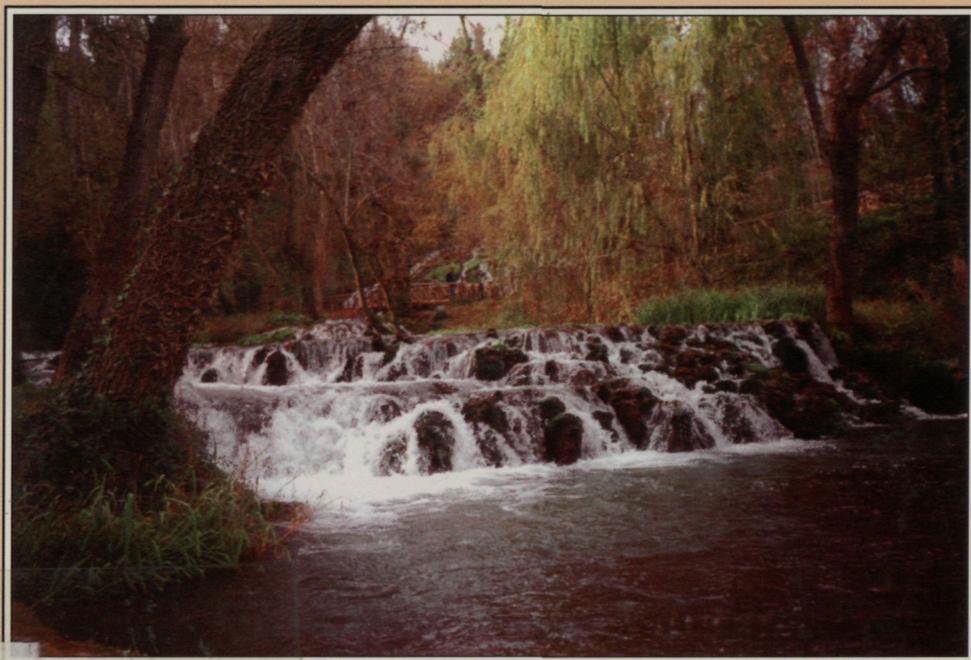


EMIGDIA REPETTO JIMÉNEZ  
M.<sup>a</sup> CARMEN MATO CARRODEGUAS

*Propuesta didáctica  
para un aprendizaje significativo*

# EL AGUA, UNA SUSTANCIA DIFERENTE E INDISPENSABLE



SERVICIO DE PUBLICACIONES DE LA UNIVERSIDAD  
DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA



**PROPUESTA DIDÁCTICA  
PARA UN APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO**

**El agua,  
una sustancia diferente  
e indispensable**

<b>BIBLIOTECA UNIVERSITARIA</b>
<b>LAS PALMAS DE G. CANARIA</b>
N.º Documento <u>524.589</u>
N.º Copia <u>524.591</u>

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
Servicio de Publicaciones  
ISBN: 84-89728-00-3  
D.L.: G.C. 16-1999  
Imprime: TARAVILLA  
Mesón de Paños, 6. 28013 Madrid

EMIGDIA REPETTO JIMÉNEZ  
M.<sup>a</sup> CARMEN MATO CARRODEGUAS

**PROPUESTA DIDÁCTICA  
PARA UN APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO**

**El agua,  
una sustancia diferente  
e indispensable**

SERVICIO DE PUBLICACIONES DE LA UNIVERSIDAD  
DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Las Palmas de Gran Canaria, 1998

# ÍNDICE

	<u>Págs.</u>
PRESENTACIÓN .....	11
 <b>MÓDULO I</b>	
I. PROPUESTA DIDÁCTICA DESDE LA PERSPECTIVA CONSTRUC- TIVISTA .....	15
INTRODUCCIÓN .....	17
OBJETIVOS .....	17
SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE .....	18
1. FASE DE ORIENTACIÓN .....	21
– Fichas de trabajo de los alumnos .....	23
2. EXPLICITACIÓN DE IDEAS .....	30
– Fichas de trabajo de los alumnos .....	31
3. REESTRUCTURACIÓN DE IDEAS .....	32
– Fichas de actividades de los alumnos .....	34
4. APLICACIÓN Y REVISIÓN DEL CAMBIO EN LAS IDEAS .....	109
– Fichas de trabajo de los alumnos .....	110
	7

## MÓDULO II

II. ESTUDIO DEL AGUA .....	115
INTRODUCCIÓN .....	117
EL AGUA LÍQUIDA .....	117
EL AGUA SÓLIDA .....	121
LAS NUBES .....	122
LA LLUVIA .....	124
ESTRUCTURA DE LA MOLÉCULA DE AGUA .....	126
ENLACE DE HIDRÓGENO .....	128
PROPIEDADES DEL AGUA .....	130
1) A la temperatura ambiente debería ser un gas .....	131
2) Punto de fusión .....	133
3) Punto de ebullición .....	134
4) Densidad .....	138
5) Viscosidad .....	140
6) Tensión superficial .....	141
7) Capacidad calorífica .....	143
8) Conductividad térmica .....	143
9) Constante dieléctrica .....	144
EL AGUA COMO DISOLVENTE .....	144
Solubilidad .....	144
Disoluciones .....	147
Medidas de concentración .....	148
Propiedades coligativas de las disoluciones .....	150
1. Presión de vapor .....	151
Leyes de Raoult .....	152
LOS ELECTRÓLITOS .....	154
Teoría de la disociación de Arrhenius .....	157
PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA .....	160
1) Dureza del agua .....	160
2) Acidez del agua .....	165
3) Electrolisis del agua .....	168

	<u>Págs.</u>
CONTAMINACIÓN DEL AGUA .....	173
Calidad del agua .....	173
El agua potable .....	173
La contaminación del agua .....	174
La contaminación del mar .....	175
DEPURACIÓN DE LAS AGUAS .....	192
La purificación natural del agua .....	193
Demanda biológica de oxígeno (DBO) y calidad de agua .....	194
Tratamiento de aguas para el suministro doméstico .....	195
Tratamiento de las aguas negras o aguas de alcantarillado .....	197
EL AGUA COMO FUENTE DE ENERGÍA .....	200
CENTRALES ELÉCTRICAS .....	201
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....	205
DESALINIZACIÓN DEL AGUA DEL MAR .....	210
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>219</b>
 <b>ANEXOS</b>	
Anexo I. GLOSARIO .....	225
Anexo II. UTILIZACIÓN DEL CONTEXTO PARA EL ESTUDIO DE CONTENIDOS CIENTÍFICOS .....	245

## PRESENTACIÓN

Hemos estructurado esta obra en dos Módulos bien diferenciados y un anexo:

El **Módulo I** constituye una propuesta didáctica para el estudio del agua, en ella se incluye una planificación de las actividades que pueden realizar los alumnos para el estudio del agua, estructurada según el modelo constructivista de enseñanza y aprendizaje y organizadas de acuerdo al paradigma didáctico de la investigación guiada (Gil, 1983). Hemos tenido en cuenta una de las más importantes implicaciones de este modelo de enseñanza aprendizaje de las Ciencias como es la de concebir el currículo, no como un conjunto de conocimientos y habilidades, sino como el conjunto de actividades a través de las cuales estos contenidos pueden ser construidos y asimilados por los estudiantes.

De hecho, el aprendizaje es un cambio, relativamente permanente que se da como resultado de una experiencia. Por otra parte, para que pueda considerarse un aprendizaje como significativo, los conocimientos adquiridos deben ser funcionales, lo que equivale a que puedan ser utilizados en situaciones diversas, cuando las condiciones en que se encuentre el alumno lo exijan. Esto lleva consigo, que los conceptos adquieren para los alumnos su verdadero significado cuando los utilizan. Por ello, pretendemos utilizar el estudio del agua como contexto a través del cual desarrollar y aplicar significativamente las diversas teorías que intentan explicar determinados fenómenos físicos y químicos, así como sus aplicaciones a procesos concretos. Como ejemplo podemos citar la teoría corpuscular de la materia; la teoría cinético molecular de los gases; los principios de la mecánica de fluidos; los procesos de disolución, los cambios de estado, la reactividad química, etc.

También hemos de considerar que en el diseño de la instrucción, las actividades que corresponden a una unidad didáctica ocupan un lugar relevante en la enseñanza de manera que su selección entre algunas ya

diseñadas o su invención para el tema, representa un momento fundamental [Driver y Oldham (1986), Gil (1987), Del Carmen (1990)]. De hecho, todas ellas se deben concretar en una determinada secuencia que ha de guiar el quehacer del alumno en el aula. Es importante reflexionar un momento sobre lo que hemos considerado como actividades, no son tales únicamente aquellas partes del proceso donde los alumnos tengan un papel relevante en acciones de tipo práctico más o menos manipulativas o de movimiento, sino también a otro tipo como puede ser la acción didáctica del profesor en el aula o fuera de ella, el estudio de documentos por parte de los alumnos, la participación en debates, las visitas didácticas a centros de interés, la asistencia a seminarios o tutorías, etc. Es interesante resaltar, que las actividades didácticas pueden considerarse como procesos interactivos en que los alumnos y profesores se relacionan entre sí y con los elementos de su contexto, intercambiando información. Por todo ello, el diseño de estas actividades debe guardar una consistencia interna y una serie de mecanismos reguladores<sup>1</sup> que intenten seleccionar las diversas posibilidades teniendo en cuenta los objetivos a conseguir.

Con las premisas anteriores, se han diseñado una serie de actividades estructuradas que deben servir de guía para el aprendizaje de los alumnos. El propósito de éstas es conseguir desarrollar en los alumnos una comprensión que integre el conocimiento físico y el teórico; el interés por plantear cuestiones y la confianza para aplicar conocimientos a situaciones novedosas; el someter a análisis el propio pensamiento; imaginación y voluntad de experimentación, apertura a las ideas de otras gentes.

Aparecen en ellas, actividades, documentación de apoyo, un glosario, cuyo objetivo es facilitar la lectura del texto o aclarar al alumno algunos términos científicos o vulgares usados en el estudio del tema.

No es una propuesta rígida ni cerrada, todo lo contrario, está pensada para que de entre ellas, el profesor, según los objetivos didácticos propuestos, el nivel educativo en que se encuentren los estudiantes y sus

---

<sup>1</sup> Actividades de regulación, «son las que se dirigen a mantener y adaptar, entre ciertos límites, la orientación y el esquema organizativo que se ha previsto para una determinada secuencia de enseñanza, así como la evaluación del desarrollo de éstas y la mejora de las mismas y sus resultados» Cañal, P. et al. (1993) «El lugar de las actividades en el diseño y desarrollo de la enseñanza: ¿cómo definir las y clasificarlas?». *Investigación en la escuela*, 19, p. 12.

ideas previas pueda elegir las que considere más idóneas para su desarrollo, teniendo en cuenta que cada alumno necesita un determinado tiempo para la comprensión de los fenómenos y para la asimilación de los conceptos.

El **Módulo II** presenta una aproximación al conocimiento teórico de la estructura y propiedades de la molécula de agua, que soporta y fundamenta la experimentación realizada.

Se pretende hacer un estudio detallado del agua como líquido más abundante en la naturaleza y de importancia vital para los seres vivos. De hecho se trata la estructura de la molécula de agua como justificación de las propiedades y aplicaciones que presenta. Se hacen hincapié en ellas porque el hecho de ser familiares a los alumnos hace que no se valoren las consecuencias de estas anomalías en el desarrollo de la vida de las personas.

Se recuerdan también propiedades o leyes fundamentales necesarias para la interpretación, justificación o comprensión de algunos de las características que se estudian.

Se dedican algunas páginas a describir sus aplicaciones más importantes así como su influencia en la vida de los seres vivos. Por otra parte se trata el efecto negativo, por la contaminación que es capaz de producir el hombre en el medio acuático, deteniéndose en el estudio de la lluvia ácida, así como en los procesos de depuración, desalación y potabilización, tan importante en una Comunidad como la canaria con su secular escasez de agua. No en vano «Lanzarote fue la pionera en España en el campo de la desalación, así como la primera en el mundo en cuanto al suministro de agua desalada para el consumo humano. De hecho, en 1964 se convierte en uno de los puntos de referencia al instalar la primera planta desaladora de agua del mar dual de 2.000 m<sup>3</sup> al día»<sup>2</sup>.

Consideramos que esta obra no es un libro de texto, es más bien un manual de apoyo y consulta para el alumno que le facilitará la consecución de un aprendizaje significativo

En el Anexo aparece en primer lugar un **glosario**, con definición de algunos términos usados durante el desarrollo de la unidad o que pueden servir de base para la comprensión de conceptos que deben aplicarse en ella. Por otra parte y a modo de ejemplo resumimos la metodología que

---

<sup>2</sup> BARRETO, J. M. (1996) *Lanzarote, la lucha por el agua*. Catálogo de la Exposición itinerante. INALSA.

puede llevarse a cabo en la utilización del contexto como medio para aprender significativamente algunos contenidos científicos. Finalmente describimos la estación Depuradora de aguas residuales de Barranco Seco II, como ejemplificación de un centro de interés utilizado en el estudio del Agua.

**MÓDULO I**  
**PROPUESTA DIDÁCTICA**

## INTRODUCCIÓN

Para conseguir un aprendizaje significativo se requiere una actividad por parte del alumno, que debe establecer el mayor número de relaciones entre el nuevo contenido y los elementos ya disponibles en su estructura cognoscitiva y esta actividad es fundamentalmente mental, cognitiva e interna.

Por otra parte, es fundamental la memoria comprensiva, que no es solo el recuerdo de lo aprendido sino la base a partir de la cual se pueden abordar nuevos aprendizajes. Todo ello, requiere un esfuerzo para relacionar los nuevos conocimientos con conceptos más inclusivos ya existentes en la estructura cognitiva.

Todo ello conduce a la consecución del objetivo primordial que es **aprender a aprender** lo que equivale a realizar aprendizajes significativos por sí solo en situaciones diversas.

## OBJETIVOS

Se centran fundamentalmente en la comprensión por parte de los estudiantes de la interrelación entre la estructura molecular del agua y sus características físico-químicas, de las que derivan lógicamente sus propiedades, usos y aplicaciones tanto tecnológicas como de la vida cotidiana. Se pueden concretar en los siguientes:

- Identificar las características diferenciales de los estados de agregación de la materia.
- Determinar experimentalmente algunas de las propiedades del agua.
- Conocer las propiedades anómalas del agua y su incidencia en la vida de los seres vivos.
- Establecer la presión hidrostática y el empuje.
- Analizar los procesos de purificación natural del agua y su aprovechamiento posterior.

- Investigar los factores que intervienen en el ciclo del agua.
- Relacionar la acción geológica del agua con la configuración del paisaje.
- Distinguir la función del agua en los seres vivos.
- Averiguar la función del agua en algunos procesos industriales.
- Investigar los procesos que ocurren en una central hidroeléctrica.
- Utilizar la visita didáctica a diversos centros de interés ( planta de tratamiento de aguas residuales o de suministro urbano, central eléctrica, potabilizadora, fábrica de refrescos, etc) como contexto para el aprendizaje de contenidos físicos y químicos.

## SECUENCIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

En el ámbito de las investigaciones en la enseñanza de la ciencia, una de las líneas de la psicología educacional <sup>1</sup> que ha predominado recientemente ha sido *la perspectiva constructivista que destaca la importancia de las ideas que el estudiante posee antes de la enseñanza y las toma en cuenta para diseñar estrategias de enseñanza y aprendizaje.*

Desde una perspectiva de cambio conceptual basada en la construcción de conocimientos, el alumno construye su propio conocimiento y los significados que se hacen dependen de lo que el alumno aporta, tanto como de lo que aporta la situación (Driver y Oldham, 1988). El papel del profesor es, pues, el de guía del aprendizaje del discente.

Hemos de considerar que los alumnos tienen con anterioridad a toda enseñanza sistemática un cierto número de ideas sobre un concepto. Interpretan un fenómeno dado o una información que reciben a través de un *marco de referencia* que le es propio o individual. El aprendizaje de una noción o de una teoría científica depende de estas representaciones. A través de ellas el individuo interpreta las informaciones que le llegan por uno u otro medio (Giordan y De Vecchi, 1987). Si de la enseñanza de un concepto no se tienen en cuenta estas representaciones, aquello que se pretende enseñar es eludido, o queda aislado junto a otros conocimientos de la vida cotidiana. Este **saber aislado** citado por Giordan, se corres-

---

<sup>1</sup> *La Psicología educacional, proporciona el marco teórico para la investigación en el área de la enseñanza. No debemos olvidar que es la que señala los aspectos a ser estudiados, los métodos más apropiados e indica las soluciones aceptables.*

ponde con el de **memoria esporádica** que se encuentra a menudo en la bibliografía.

La Didáctica de las Ciencias desde hace dos décadas ha puesto gran énfasis en desarrollar en los discentes un modo de pensar científico. Posteriormente, algunos investigadores han empezado a cuestionarse el modo en que aprenden esos conceptos y los retienen en la memoria. La forma en que se adquieren los contenidos adquiere relevancia al comprobarse que muchos universitarios tienen ideas sobre fenómenos naturales que se parecen básicamente a la de los estudiantes que apenas han recibido instrucción sobre ellas. A estas ideas de los alumnos se les designa en la literatura como «*ideas intuitivas*», «*ciencia de los niños*», «*preconcepciones*», «*errores conceptuales*», «*marcos alternativos*», «*representaciones espontáneas*»... Su origen puede encontrarse (Osborne y otros, 1983) en: las experiencias y observaciones de la vida cotidiana, el uso del lenguaje y, el refuerzo de la cultura, especialmente las creencias y prácticas de los grupos de pertenencia más cercano como pueden ser la familia, los amigos, la escuela.

En consecuencia lo que se aprende va a depender de las ideas previas que tengan los discentes, las estrategias cognoscitivas de que disponen y también de sus propios intereses y propósitos (Driver, 1988). Análogamente, en las actividades prácticas, las ideas previas del alumno influyen las observaciones que hagan, las inferencias que construyan e, incluso, el camino en que estructure el experimento (Driver, 1983).

Para intentar conseguir un aprendizaje significativo, se presenta la propuesta de una serie de actividades clasificadas siguiendo el esquema de Needham <sup>2</sup> (1987) para las diferentes fases que podrían darse dentro de un proceso metodológico constructivista : Orientación, explicitación de ideas, reestructuración de ideas, aplicación de ideas y revisión de las ideas.

De todas formas, queremos resaltar que en la práctica, esta división en fases es más teórica que real pues muchas veces se detecta un solapamiento entre ellas. De hecho, al estar explicitando las ideas empieza una reestructuración de las mismas. No podemos, pues, establecer compartimentos estancos en la manera de aprender.

Asimismo, creemos importante destacar que muchas de estas actividades encuadradas en una u otra fase, pueden distribuirse de otra forma

---

<sup>2</sup> NEDDHAM, R. (1987) «Teaching strategies for development understanding in Science». *Children's learning in Science Project*. University of Leeds.

según los conocimientos previos de los estudiantes, los intereses tanto de los alumnos como del profesor, el material disponible, la posibilidad de utilización de determinados recursos, el tiempo que puede dedicarse al estudio del tema.

A título orientativo se indican en el siguiente esquema algunas de las técnicas y/o procedimientos que pueden vincularse a cada una de las fases de la secuencia.

**Esquema resumen de la secuencia de enseñanza-aprendizaje constructivista basada en la investigación**

<b>ORIENTACIÓN.</b>	<b>MOTIVACIÓN</b>	* Planteamiento de situaciones cotidianas para comentar y debatir.
	<b>DIAGNÓSTICO INICIAL.</b>	* Resolución de un cuestionario sobre el tema.
<b>OBTENCIÓN DE IDEAS.</b>	<b>PLANTEAR PROBLEMAS.</b>	* Plantear interrogantes sobre las respuestas y comentarlas en pequeños grupos.
	<b>REGISTRAR LAS OPINIONES.</b>	* Elaborar un mural con los aspectos más significativos.
	<b>EXPLICITAR LAS IDEAS.</b>	* Debate en gran grupo de las ideas plasmadas en los murales.
<b>REESTRUCTURACIÓN DE IDEAS.</b> * Clarificación e intercambio. * Exposición a situaciones de conflicto. * Construcción de ideas. * Evaluación.	<b>COMPARAR CONCEPTOS</b>	* Establecer paralelismos y diferencias entre las opiniones dadas.
	<b>EXAMINAR CRÍTICAMENTE LAS NOCIONES.</b>	* Examinar las ideas propias analizando su validez. Puesta en común.
	<b>COMPROBAR VALIDEZ CONCEPCIONES EXISTENTES.</b>	* Analizar un texto base, artículos, video, etc. y discutir posibles contradicciones.
	<b>MODIFICAR-SUSTITUIR IDEAS.</b>	* Elaborar y resolver claves de lectura. * Comparar los esquemas elaborados con las respuestas del diagnóstico inicial.
	<b>AMPLIAR-COMPLETAR ESQUEMAS CONCEPTUALES.</b>	* Búsqueda bibliográfica. * Elaboración de mapas conceptuales. * Trabajos prácticos. Pequeñas investigaciones. * Resolución de fichas de trabajo. * Visitas a industrias. Itinerarios.
	<b>COMPROBAR VALIDEZ DE LOS NUEVOS CONCEPTOS.</b>	* Corrección de las actividades y fichas de trabajo y comparación con las ideas previas. * Puesta en común.
<b>APLICACIÓN DE LAS IDEAS.</b>	<b>REFORZAR LAS NUEVAS IDEAS.</b>	* Elaboración de murales de los mapas conceptuales.
	<b>CONECTAR CON VIDA COTIDIANA.</b>	* Entrevistas a profesionales, etc. * Estudios teórico y experimental sobre problemas de vida diaria. * Comentario de textos, interpretación.
<b>REVISIÓN DEL CAMBIO EN LAS IDEAS.</b>	<b>CONCIENCIAR DEL CAMBIO CONCEPTUAL.</b>	* Analizar el diagnóstico inicial y comentar las diferencias.
	<b>REFLEXIONAR SOBRE EL MISMO.</b>	* Comparar las ideas explicitadas por los diferentes grupos.

## 1. FASE DE ORIENTACIÓN

Esta fase reviste gran importancia, ya que proporciona una **primera información** sobre el alumnado, **permite** precisar **los objetivos** y ayuda a preparar y a estructurar mejor el proceso de enseñanza. En ella incluimos tanto la motivación como la diagnosis inicial. De igual forma facilita un ajuste continuado de las estrategias, incidiendo o reforzando las que interesen de acuerdo con el diagnóstico previo. Es interesante que el estudiante vea una utilidad real a lo que está aprendiendo desde el comienzo de la acción educativa. No podemos ignorar que el aprendizaje institucional escolar supone una descontextualización del sujeto de su vida cotidiana y esta circunstancia debe ser tenida en cuenta en nuestros planteamientos didácticos (Valcárcel y otros, 1990)

Desde una perspectiva constructivista, la motivación no es más que un componente activo que impulsa y determina una conducta. De hecho actúa como una «variable interviniente» entre el estímulo ( materiales didácticos ) y la conducta (tareas escolares prescritas por los mismos) (Román,1989). Hemos de considerar, por otra parte, que un alumno aprende mejor cuando hace significativo aquello que debe aprender, es decir, cuando se les motiva para que establezcan una relación entre lo que aprenden y lo que ya saben (Carbonell y Mases, 1990).

No obstante, hay que crear un ambiente que estimule la participación activa desde un camino plenamente significativo (Pla y Prats, 1990). Como procedimientos de motivación podemos considerar según los casos:

- Proyección de vídeos.
- Comentarios de textos científicos.Claves de lectura.
- Visitas didácticas a centros de interés.
- Coloquios y debates.
- Observación de fenómenos.
- Actualidad científica.

Nos parece interesante introducir aspectos de la actualidad en el estudio de temas científicos para ayudar a motivar a los alumnos, al encontrar los temas más próximos a sus vidas y a sus intereses (Marco, 1990). Apoya esta afirmación estudios realizados con el fin de conocer la inclinación afectiva de los estudiantes ante algunas variantes introducidas en los programas clásicos de Física y Química (Frazer y Shotts, 1987; Kirham, 1987). Por otro lado, la actualidad aporta también un grado mayor de conexión con la Ciencia real, con toda la complejidad que le envuelve.

La diagnosis inicial es una de las formas que el profesor puede utilizar para poner de manifiesto lo que los alumnos conocen de un determinado tema o cuestión. Esto exigirá, a veces, volver a estructurar tanto el contenido de las actividades como su diseño y secuenciación.

Hay diversas formas de averiguar lo que saben los estudiantes así como diferentes momentos de la intervención didáctica donde pueden ponerse de manifiesto. Puede hacerse mediante la respuesta antes de comenzar el estudio de un tema, por escrito y durante un tiempo proporcionado, a diferentes cuestiones que conciernen al tema completo o bien fragmentarla y realizarla en un corto espacio de tiempo antes de empezar cada hora de clase. Quizás la primera forma sea más fiel a la hora de proporcionar datos sobre los que saben los alumnos ya que no cabe duda que al empezar a discutir sobre alguna cuestión, se tocan aspectos generales del tema o bien hay que profundizar en determinados aspectos que distorsionarán el conocimiento del profesor sobre lo que realmente sabían los estudiantes antes de empezar a tratar el tema. No obstante, al constituir este cuestionario una primera aproximación a la materia objeto de estudio, es interesante, bajo el punto de vista del aprendizaje que antes de realizar cada actividad, el profesor vuelva a inquirir sobre los conocimientos previos del alumno en el aspecto determinado de que se trata.

Si la diagnosis inicial se lleva a cabo cumplimentando un cuestionario, han de tener claro tanto el profesor como los alumnos que no es un examen al estilo tradicional, y por tanto, ni el alumno recibe una calificación ni tiene que hacerse de manera individualizada. En ocasiones, es mucha más rica la experiencia si se resuelve entre los compañeros del grupo ya que la discusión que puede originarse cuando no coinciden las ideas de unos y otros ayuda, la mayor parte de las veces a clarificar las ideas o al menos a plantearse problemas que de otra forma pasarían inadvertidos.

Una vez revisado por el profesor, éste hará las modificaciones que estime oportunas en su planificación didáctica, antes de ponerla en práctica.

Didácticamente, cada vez que se va a llevar a cabo en el aula el estudio de aspectos relacionados con los conocimientos analizados, el profesor debe poner de manifiesto la situación inicial de los alumnos de la clase, detectar los errores más frecuentes, evidenciar carencias,...etc, a fin de poder diseñar las actividades más idóneas para que el alumno aprenda significativamente. A título orientativo, se muestra una propuesta para la diagnosis inicial del estudio del agua dentro del temario dirigido a alumnos de primer ciclo universitario.

ACTIVIDADES DE ORIENTACIÓN	
<b>DIAGNÓSTICO INICIAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Complimente un cuestionario dado por el/la profesor/a.</li> <li>* Realice un mapa conceptual donde el concepto más inclusor sea el <b>agua</b>.</li> </ul>
<b>MOTIVACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Debata en grupo sobre: «¿Para qué utiliza usted el agua?». Haga un listado.</li> <li>* ¿Qué otras aplicaciones conoce del agua? Reséñelas.             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anote las ideas en su cuaderno, discútalas previamente con sus compañeros y elabora unas conclusiones para exponerlas en la puesta en común.</li> </ul> </li> <li>* Cite refranes o locuciones relativas al agua.</li> <li>* Enumere productos de la vida diaria en cuya denominación y/o composición intervenga el agua.</li> <li>* Confeccione un dossier sobre noticias o artículos relacionados con el agua.</li> </ul>

## DIAGNÓSTICO INICIAL

### A) Planteamiento de un cuestionario

1. El agua pura es:  Un elemento  Un compuesto  Una mezcla. Justifique su respuesta:
2. Cite alguna de las propiedades que recuerde del agua. Clasifíquelas como propiedades físicas o químicas.
3. Defina con sus propias palabras lo que entiendes por especie iónica. El agua pura contiene:  Solamente iones  $H^+$   Solamente iones  $OH^-$   No contiene iones  $H^+$  ni  $OH^-$   Contiene iones  $OH^-$  y  $H^+$ .

5. ¿El agua sólida, líquida o gaseosa ¿presentan la misma composición? ¿Podría decir según su criterio si existe alguna diferencia fundamental y en que consiste? Imagínese que puede ver el agua «por dentro», realice un dibujo esquemático con el que representes la estructura interior del agua en cada uno de sus estados.

a) Sólida	b) Líquida	c) Gas
-----------	------------	--------

6. Cuando se sumerge en una piscina nota que actúa algún tipo de fuerzas sobre usted?  
Si es así, dé una explicación razonada. Realice un dibujo esquemático en el que represente mediante flechas las fuerzas que cree que actuarían en una persona que flota sumergida.

7. ¿Ha consultado alguna vez la etiqueta de un envase de agua? SI  NO  ¿Podría citar alguna de las características que se indican en la misma? y/o su significado?
8. ¿Qué es el agua destilada?
- Cite esquemáticamente los pasos seguidos en su proceso de obtención.
  - ¿En qué se diferencia el agua destilada del agua natural?
9. ¿En qué estados puede encontrar el agua en el medioambiente? ¿Y en su entorno habitual?

10. Indique cuál es la temperatura normal de ebullición y de congelación del agua.

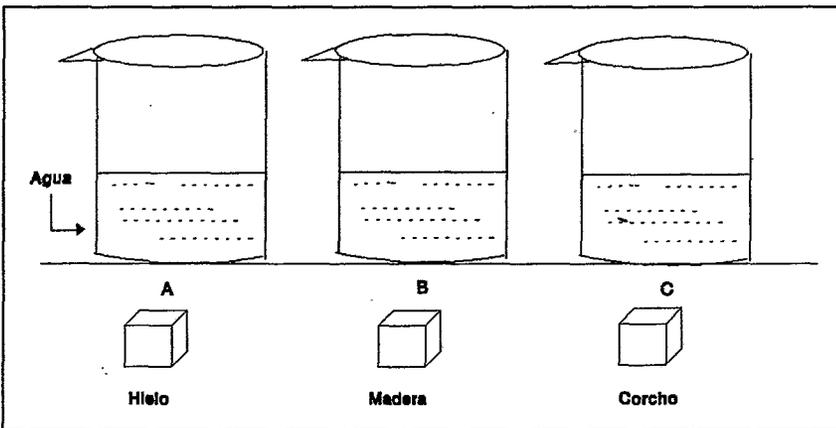
- ¿El agua puede hervir o congelar a temperaturas diferentes a la anterior?

Sí  No

- Explique sus respuestas.

12. ¿Conoce el valor de la densidad del agua? En caso afirmativo exprésala de forma adecuada:

13. Observe la figura siguiente (A), que representa un vaso con agua y un cubo de hielo.



a) Imagínese que ha introducido el hielo dentro del vaso. Seleccione la opción con la que esté de acuerdo.

- El hielo flota.  
 El hielo se hunde.

En el caso que haya respondido que flota, realice un dibujo que represente como flota dicho cubo de hielo.

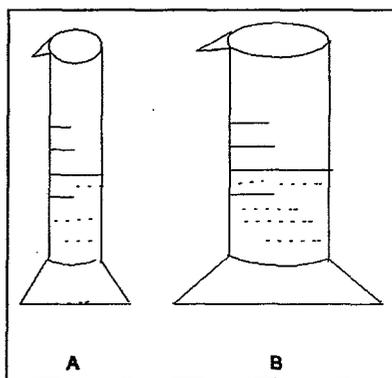
b) Repita lo mismo para los casos en que el cubo fuera de madera (B) y de corcho (C).

Dé una explicación a los hechos representados.

14. En muchos países la superficie de los lagos y ríos aparece congelada durante el invierno. ¿Se llegaría a congelar totalmente el lago?  
 Sí  No. ¿Por qué?
15. ¿Qué es una central hidroeléctrica? Indique cuáles son los elementos fundamentales.
16. ¿Qué es la lluvia? ¿Cómo se origina?
17. Nombre tres tipos de contaminantes del agua:
18. ¿El agua pura es conductora de la electricidad?  Sí  No. Justifique su respuesta.
19. ¿El agua forma parte de nuestro organismo?  Sí  No  No lo sé.  
 En caso afirmativo, ¿en qué proporción aproximadamente se encuentra?  
 La mitad  Dos terceras partes  Una cuarta parte.  
 Si cree que forma parte de nuestro organismo, ¿podría indicar la función que desempeña?
20. Ciertos insectos pueden andar sobre el agua. ¿Cómo explica esto?
21. Cite tres aplicaciones industriales del agua:
22. Sabría explicar por qué durante el invierno, en los países muy fríos, se añade sal en las calles para facilitar el deshielo (o la no producción de hielo). ¿Qué líquido es el que se añade a los radiadores de los coches en dichos países? ¿Entra el agua en su composición?
23. Cite tres sólidos y tres líquidos que sean solubles en agua. «Ídem» para el caso que sean insolubles. Justifique según su criterio por qué unos se disuelven y otros no.

SOLUBLES EN AGUA		INSOLUBLES EN AGUA	
• Sólidos		• Sólidos	
• Líquidos		• Líquidos	

24. ¿Qué significa para Ud. «disolverse en agua»? ¿Ha cambiado algo en la sustancia que se disuelve o no ha cambiado nada? ¿Por qué no tiene dicha sustancia la misma apariencia que antes de disolverse?
25. Nombre al menos cinco productos de uso cotidiano que sean disoluciones acuosas preparadas y otros tantas que sean disoluciones acuosas naturales.
26. ¿Qué significado tiene decir que una determinada disolución acuosa es «concentrada o diluida»? ¿Cómo expresaría la concentración de una disolución?
27. La figura que se muestra a continuación presenta dos probetas de diferente diámetro pero con agua hasta la misma altura. ¿Cómo será la presión del agua en el fondo, igual o diferente para ambas probetas?



28. ¿Cómo puede expresarse la acidez de una disolución?
29. ¿Qué entiende por «lluvia ácida»? ¿Qué tipo de contaminantes son los que la originan?
30. Nombre algún efecto perjudicial de esta lluvia.

B) *Elaboración de un mapa conceptual*

- Realice un mapa conceptual donde el agua sea el concepto más inclusor. Recuerde que debe terminar en un ejemplo concreto.

**ACTIVIDADES DE MOTIVACIÓN (I)**

**Debate sobre cuestiones alusivas al tema**

— Complimente las siguientes cuestiones:

- ¿Para qué utiliza el agua? Haga un listado.
- ¿Qué otras aplicaciones conoce del agua? Reséñelas
- Anote las ideas en su cuaderno, discútalas previamente con sus compañeros y elabore unas conclusiones para exponerlas en la puesta en común.

**ACTIVIDADES DE MOTIVACIÓN (II)**

**Relación entre el lenguaje científico y el cotidiano**

- Cite y analice refranes o locuciones relativos al agua. ¿Qué significado se le da al término *agua* en dichas frases?

**ACTIVIDADES DE MOTIVACIÓN (III)**

**Reflexión sobre el uso del término «agua» en diversos productos de la vida diaria**

— Haga un listado de productos o compuestos en cuya denominación figure el término «agua». (Por ejemplo: agua de colonia, agua oxigenada...).

- Escriba una definición creada por Ud. para cada uno de ellos.
- ¿En todos los productos que ha citado existe realmente agua?

**ACTIVIDADES DE MOTIVACIÓN (IV)**  
**Elaboración de un dossier sobre noticias relacionadas con el agua**

Esta actividad debe realizarla cada grupo de alumnos consultando diferentes fuentes de información que serán asignadas por el profesor para evitar que se consulten repetidamente las mismas fuentes. No obstante, los alumnos pueden elegir, además, otras de las no citadas. En el tiempo planificado para ello se llevará a cabo una puesta en común donde el representante de cada uno de ellos hará un comentario sobre los aspectos más interesantes de la noticia.

<b>Grupo</b>	<b>Prensa diaria</b>	<b>Revistas divulgación</b>	<b>Otras elegidas por los alumnos</b>
GRUPO 1	<i>La Provincia</i>	<i>Mundo científico</i>	
GRUPO 2	<i>Canarias,7</i>	<i>Investigación y Ciencia</i>	
GRUPO 3	<i>El País</i>	<i>Muy interesante</i>	
GRUPO 4	<i>ABC</i>	<i>Natura</i>	
GRUPO 5	<i>El Mundo</i>	<i>Conocer</i>	
GRUPO 6	<i>El Día</i>	<i>Integral</i>	
GRUPO 7	<i>La Gaceta de Canarias</i>	<i>Gaia</i>	
GRUPO 8	<i>Diario Las Palmas</i>	<i>Ecología Política</i>	

- Clasifique y organice dichas noticias siguiendo un criterio. Justifique el criterio de clasificación elegido.
- Entre las noticias seleccionadas debe figurar alguna relacionada tanto con la contaminación como con el aprovechamiento del agua como recurso, sus usos y sus aplicaciones industriales.
- Valore las noticias encontradas y seleccione las dos que más le hayan impactado. ¿Por qué?
  - Haga un resumen de una de ellas y elabore un esquema, un cuadro sinóptico o un mapa conceptual que represente las ideas más relevantes para exponerlo en clase a sus compañeros.
- Realice un mapa conceptual donde el agua sea el concepto más inclusor. Recuerde que debe terminar en un ejemplo concreto.

## 2. EXPLICITACIÓN DE IDEAS

Se crean situaciones de partida, es decir, situaciones de enseñanza-aprendizaje, en las que el estudiante se vea estimulado a explicitar sus ideas o preconceptos. Estas situaciones pueden y deben plantearse en diferentes momentos de la acción didáctica. De hecho, se hacen patente a través de la diagnosis inicial, durante la motivación del tema y en cada una de las situaciones donde se plantea una actividad de reestructuración de ideas. Todo ello va a permitir que el profesor conozca no sólo estas concepciones previas sino también cómo el estudiante configura un modelo explicativo sobre las situaciones planteadas.

No basta, sin embargo, que el profesor las conozca, sino que el alumno necesita «saber» sus propias ideas y ser consciente de si están de acuerdo con las del profesor y los otros compañeros del grupo y de la clase. Por ello después que el docente las ha detectado tiene que trabajar con ellas de forma que los alumnos expliciten lo que piensan pues es el camino más corto para lograr un cambio conceptual. Es interesante, no sólo poner de manifiesto en el aula las ideas de los alumnos sino también destacar las analogías y, especialmente, las diferencias que pudieran existir.

Se pueden utilizar muchas estrategias para su determinación, según el tema o las características de los alumnos y el número de ellos en clase, así como el tiempo del que podamos disponer. Podríamos citar a título de ejemplo : las tareas razonadas (Shayer y Adey, 1984) ; pruebas presenciales (García y otros, 1989) ; cuestionarios (Brooks y otros, 1984); entrevistas (Osborne y otros, 1985); mapas conceptuales (Novak y Gowin, 1988).

Las ideas explicitadas por los alumnos se pueden utilizar como un elemento del curso, ya que:

1. Son una fuente de motivación
2. Son un material de tratamiento didáctico que van a permitir :
  - \* **Trabajar con ellas**, al desarrollarlas y reorganizarlas.
  - \* **Actuar contra ellas**, al confrontarlas y contradecirlas.
  - \* **Actuar a través de ellas**, al interferir e interactuar con ellas.

## EXPLICITACIÓN DE IDEAS

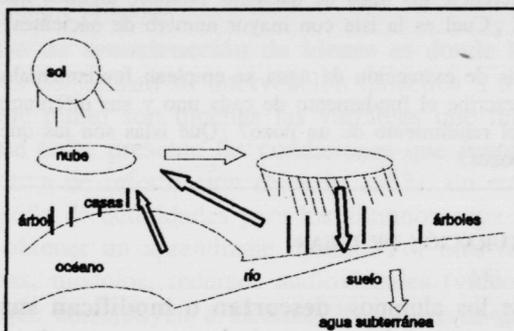
- \* Enumere diversas propiedades del agua, e intente diferenciar cuáles de ellas son anómalas y por qué.
- \* Elabore las actividades señaladas para antes y después de la proyección del video «El agua en Canarias».

## PROYECCIÓN DEL VIDEO «EL AGUA EN CANARIAS»

### Actividades antes de la proyección

El dibujo siguiente muestra una representación esquemática del ciclo del agua en la naturaleza. Las flechas indican las vías a través de las cuáles tiene lugar.

- \* Identifique los principales elementos responsables de este ciclo. Coméntelo con sus compañeros.
- \* Sitúe al pie de las flechas el nombre del fenómeno o proceso que se desarrolla y explíquelo adecuadamente (aclare si se ha producido algún «cambio de estado» y qué causas son las determinantes).



- \* Comente el siguiente texto en relación con el Archipiélago Canario. ¿En cuál de las dos situaciones que se presentan enmarcaría la isla de Gran Canaria? Después de un breve análisis, clasifique el resto de las islas según este criterio.

*En aquellas partes del mundo en que la velocidad de precipitación es mayor que la velocidad de evaporación, los suministros de agua, generalmente, son adecuados, mientras que en aquellas áreas en las que la velocidad de evaporación es mayor que la velocidad de precipitación, los residentes deben esforzarse en obtener suficiente agua para que se mantenga la vida y la agricultura.*

BAILAR, J.C. et al. (1983): *Química*.

### ACTIVIDADES PARA DESPUÉS DE LA PROYECCIÓN

- \* Indique esquemáticamente la distribución del agua en la tierra. Si la cantidad de agua sobre la tierra es constante, ¿cómo se explica la disminución en la disponibilidad del agua?
- \* ¿Qué tipo de vientos son los principales responsables del régimen pluviométrico de las islas? ¿Cómo afecta el relieve a la formación de lluvias? Clasifique las Islas Canarias según su altitud y establezca su relación con la pluviometría. ¿Qué lugar ocuparía Lanzarote?
- \* ¿Qué islas son las que reciben más cantidad de agua? ¿Por qué?
- \* ¿Qué factores favorecen la infiltración del agua de lluvia?
- \* ¿Qué es un acuífero? Señale los elementos responsables de su formación ¿Cómo se establece el límite superior e inferior del mismo? ¿Puede aumentar la concentración de sal en un acuífero? Explíquelo detalladamente. Haga un dibujo esquemático que represente esta situación.
- \* ¿Cuáles son las causas que determinan la formación de un nacimiento o fuente de agua? Diferencie los tipos de nacimiento. Nombre algunos que existan en el Archipiélago. ¿Cuál es la isla con mayor número de nacientes?
- \* ¿Qué sistemas de extracción de agua se emplean fundamentalmente en nuestras Islas? Describe el fundamento de cada uno y sus diferencias. ¿En qué se fundamenta el rendimiento de un pozo? ¿Qué islas son las que tienen mayor número de pozos?

### 3. REESTRUCTURACIÓN DE IDEAS

En esta fase los alumnos **descartan o modifican sus propias concepciones tal como estaban formuladas** y pasan a desarrollarlas y reorganizarlas para proponer ideas cada vez más elaboradas, ya que su construcción del saber se produce progresivamente por medio de una interacción entre sus representaciones personales y las informaciones significativas que puede conseguir en las situaciones en las que se encuentra inmerso, en las que se incluyen las experiencias de la vida cotidiana.

Previo al desarrollo de cada actividad y como se deduce de lo dicho anteriormente, debe el alumno explicitar las ideas que tiene sobre los contenidos, tanto conceptuales, procedimentales como actitudinales referidos a los que se pretenden lograr con las actividades propuestas.

Todo ello se puede realizar mediante :

- La comparación de conceptos mediante el planteamiento y resolución de situaciones experimentales y experienciales.
- Análisis de textos base e investigación bibliográfica.
- Elaboración de mapas conceptuales.
- Resolución de fichas de trabajo.

En este apartado, señalan algunos autores tres subfases :

- 1) clarificación, intercambio y conflicto de ideas;
- 2) construcción de ideas, y
- 3) evaluación.

Es normal que los alumnos presenten carencias en sus razonamientos que hagan precisa una **clarificación de las ideas** o, también, una información más amplia de la cuestión. A veces se ponen de manifiesto errores conceptuales en cuyo caso el profesor deberá propiciar situaciones de conflicto que hagan recapacitar al alumno y le induzca a la obtención del concepto correcto.

En la subfase de «**construcción de ideas**» es donde la mayor parte de los profesores comienzan su intervención didáctica a través de explicaciones. En este punto son muchas las variables que intervienen pero sería conveniente tener presente las condiciones que favorecen la transmisión significativa de información (Novak, 1982). En esta fase han de plantearse una serie de actividades para los alumnos cuya realización les debe ayudar a obtener un aprendizaje óptimo. Por otro lado, la utilización de maquetas, modelos, recursos audiovisuales (vídeos, ordenador), son elementos que contribuyen a alcanzar los objetivos de esta fase de construcción del conocimiento.

### 1.3. REESTRUCTURACIÓN DE IDEAS

\* Lleve a cabo las actividades reseñadas como:

- Observemos y describamos el agua.
- ¿A qué temperatura hierve el agua?
- La densidad del agua.
- El poder disolvente del agua.
- ¿A qué temperatura se funde el agua sólida?
- Lectura y resolución de la clave de un texto propuesto.
- Determinación del punto de fusión del hielo.
- Destilación del agua del mar.
- Descomposición electrolítica del agua.
- La presión hidrostática.
- La balanza hidrostática.
- Construcción de un hidrómetro.
- ¿Qué sucede cuando nos sumergimos en el agua?

\* Intervención didáctica del/la profesor/a sobre la estructura de la molécula del agua.

\* Conductividad del agua.

\* Estudie un texto sobre Arrhenius y la disociación electrolítica y otro sobre Faraday y cumplimente las correspondientes claves de lectura.

\* Determinación de la acidez-basicidad del agua.

\* Poder disolvente del agua.

\* Retención del agua por el suelo.

\* Determinación de sales disueltas: cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, calcio, magnesio, sólidos en suspensión.

\* La dureza del agua.

\* Solubilidad de la sal común. Estudio de disolución.

\* Determinación de la materia orgánica en el agua: DQO y DBO.

\* Determinación de amoníaco, nitritos y nitratos en agua.

\* Elaboración de las actividades propuestas para el estudio de la lluvia ácida.

\* Investigación bibliográfica sobre las distintas causas de contaminación del mar.

\* Visita didáctica a:

- Una potabilizadora.
- Una depuradora de aguas residuales.
- Una planta desaladora.
- Planta de tratamiento de agua para suministro urbano.
- Fábrica de refrescos.
- Central termoeléctrica.

\* Estudio teórico y experimental del tratamiento del agua para piscinas.

## OBSERVAMOS Y DESCRIBIMOS EL AGUA

### Material

- \* Recipientes de cristal de distintas formas: Vasos de precipitado, cristalizadores, probetas, etc.
- \* Agua.
- \* Bibliografía recomendada por el profesor.

### Procedimiento y cuestiones dctoras:

- Llene un recipiente transparente con agua. Obsérvela atentamente. ¿Qué características físicas puede describir como consecuencia de sus observaciones?. Haga un listado con ellas.
- Cite las propiedades más características del estado líquido:
  - Experimentélas con el agua y compárelas con las del estado gaseoso y las del estado sólido. Realice para ello el diseño experimental adecuado (material necesario, procedimiento a seguir,...etc)
  - ¿Cómo explicaría dichas propiedades utilizando un modelo de naturaleza corpuscular para la materia.
- ¿Cree que con las características descritas sería suficiente para distinguir el agua de cualquier otra sustancia? ¿Sería necesario aportar algún otro dato? ¿Cuál/es? Debata sus ideas con los compañeros.
- Consulte en la bibliografía cuáles son las propiedades físicas que se utilizan para caracterizar y distinguir una sustancia de otra. ¿Cuales de las que se reseñan no ha sido capaz de obtener de sus primeras observaciones?. Elabore un listado con ellas.
- De las propiedades físicas que no haya podido obtener de sus observaciones, ¿cuáles cree que podría obtener de forma experimental?
- Planifique cuidadosamente las experiencias que realizaría para determinar dichas propiedades, para ello le sugerimos que detalle:
  - Propiedad a determinar.
  - Variables que pueden intervenir.
  - Procedimiento a seguir.
  - Material necesario y/o adaptación del existente en el aula.
  - Datos a tomar y forma de registrar los mismos.
- Compare los resultados obtenidos en sus experimentos con los datos obtenidos en la bibliografía. En el caso de que difieran, estudie las posibles causas de error.
- Estudie qué tipo de modelo sobre la estructura molecular del agua es el que permite explicar las propiedades descritas.

## ¿A QUÉ TEMPERATURA HIERVE EL AGUA?

### Material

- \* Erlenmeyer.
- \* Termómetro.
- \* Agua.

—  
\*  
\*  
\*

### Cuestiones ductoras

- Estudie teóricamente en que consiste el fenómeno de la ebullición.
- Identifique las variables que intervienen en este fenómeno físico.
- Especifique la influencia de la presión en este fenómeno.
- ¿En qué condiciones se podría lograr hervir el agua a diferentes temperaturas?

### Procedimiento

- Haga un diseño experimental para determinar el **punto de ebullición** del agua, Especifique:
  - Variable dependiente.
  - Variable independiente.
  - Variables controladas.
- Indique esquemáticamente el procedimiento a seguir:
  - Tenga en cuenta el material que se le ha indicado y complételo con el que considere necesario.
  - Incluya las normas de utilización del material y las medidas de seguridad.
  - ¿Qué observaciones y anotaciones tiene que realizar?
  - Determine los datos que tiene que tomar para hacer con posterioridad una representación gráfica de los mismos.
- Estudie los resultados obtenidos. ¿Qué conclusiones puede obtener? Enuncie alguna ley física como consecuencia de ello.
- ¿A qué se llama *calor de vaporización*?
- Si quiere hervir un litro de agua ¿Qué cantidad de gas butano necesitaría? Suponga que el rendimiento es del 100 %.

## ¿A QUÉ TEMPERATURA SE FUNDE EL AGUA SÓLIDA?

**Material** (especifíquelo):

- \*
- \*
- \*

### **Procedimiento**

- Realice un diseño experimental que le permita determinar a qué temperatura el agua sólida pasa a líquida. Muéstrelo a la profesora y llévelo a cabo.

### **Cuestiones ductoras**

- ¿Cómo se llama el paso de una sustancia del estado sólido al líquido?
- ¿Existe alguna ley que rijan este fenómeno?
- ¿Es un fenómeno físico o químico? ¿Por qué?
- ¿Influye la presión en la temperatura a la que se produce la fusión?
- ¿Qué otras variables pueden influenciar el fenómeno?
- ¿Conoce alguna aplicación en la vida diaria de esta «influencia». ¿Sabe qué leyes la cuantifican?
- ¿A qué se llama calor de fusión de un cuerpo?
- ¿Qué es el calor específico de una sustancia? ¿Cuánto vale para el agua? ¿Y para el hielo?
- Utilice el diagrama de fases para predecir el estado físico del agua a 10°C y presión de 0,5 atmósfera.
- ¿Cuánto hielo puede fundirse con un mechero de alcohol cuya capacidad es de 250 ml?
- Lea el artículo que se presenta a continuación y elabore la correspondiente clave de lectura.

«Una gran parte de la tierra de la Atlántida está por debajo del nivel del mar... Una de las diferencias, entre los polos Norte y Sur, es que el Norte es mar helado sin tierra debajo, pero rodeado de continentes, y el Sur, es un continente tapado por el hielo y rodeado por el mar. En la Antártida hay cerca de 30 millones de kilómetros cúbicos de agua congelada cuyo peso ha provocado que el continente se hunda bajo el nivel del mar.

Si consideramos la altura del mar como una mesa, la Antártida es como una copa de helado cuyo fondo estuviera debajo de esa mesa. La bola de helado, el hielo, ha hundido una media de 800 metros la copa, la tierra antártica. En la zona más hundida, la fosa de Bentley, la tierra está a 2.538 metros bajo el nivel del mar. Si el hielo desapareciese de golpe, la Antártida subiría como un ascensor...

El hielo de la Antártida es dulce, a diferencia del que cada invierno se produce al congelarse el mar, que es salado. Ese hielo continental se forma con la nieve que cae, pero mediante un proceso complejo. Para que la nieve que cae sobre la Antártida se convierta en hielo tienen que pasar algunos siglos y estar enterrada debajo de una considerable capa de nieve más reciente. El tamaño de la capa y el tiempo varían según la zona del continente.

Una hipotética nevada que cayera sobre todo el continente formaría una capa más o menos homogénea. Para que esa nieve se convirtiera en hielo deberían pasar, en las zonas costeras, al menos 200 años, después de los cuales la capa estaría ya a una profundidad de entre 40 y 60 metros. La nieve de la misma capa que hubiera caído más cerca del polo debería encontrarse a 100 metros de profundidad para transformarse en hielo. pero tardaría al menos 1000 años en cambiar su estado.»

CALVO, A. (1992): *La Antártida. Catedral del hielo*. McGraw-Hill. Serie Divulgación científica. Madrid, pp. 45 y 46.

### Clave de lectura

1. Lea atentamente el artículo. Póngale un título.
2. Haga un resumen del mismo. Puede utilizar para ello la elaboración de un mapa conceptual.
3. ¿Por qué se esparce sal sobre las carreteras principales en latitudes septentrionales.
4. ¿Es lo mismo hielo que nieve? Explique las diferencias que existan.
5. ¿Dónde está situada la Antártida?
6. ¿Qué quiere decir que el hielo de la Antártida es dulce? ¿Por qué es así?

## DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE FUSIÓN DEL HIELO

### Material

- \* Vaso de precipitados.
- \* Termómetro 100 °C / -10° C.
- \* Mortero.
- \* Hielo.
- \* Cronómetro.

### Procedimiento

- Llene el vaso de precipitados con hielo finamente triturado.
- Introduzca el termómetro y anote la temperatura.
- Repita la operación, cuando empieza a fundir y cada cinco minutos hasta que todo el hielo haya desaparecido.
- Vuelva a hacer la experiencia utilizando agua del mar. ¿Obtendría los mismos valores? Justifique sus respuestas.

### Cuestiones ductoras

- ¿Puede ser la temperatura del hielo menor de 0°C?
- ¿Cuál es la temperatura más baja que ha determinado?
- Cuando el hielo esta fundiendo, ¿qué temperatura marca el termómetro? ¿Cuánto tiempo permanece este valor? Intente explicar científicamente este hecho.

## LA DENSIDAD DEL AGUA

### Material

- \* Picnómetro.
- \* Termómetro.
- \* Agua.

—  
\*  
\*  
\*

### Procedimiento

- Complete el material anterior con el que estime necesario para la determinación experimental de la densidad.
- Llene un picnómetro con agua destilada
- Determine la masa de agua contenida en dicho volumen
- Con estos datos calcule el valor de la densidad del agua

### Cuestiones ductoras

- Si no dispone de picnómetro, ¿qué utensilio podría usar? ¿Cometería algún error?
- ¿En qué unidades puede expresar el valor de la densidad?
- ¿Es lo mismo densidad que peso específico?
- ¿Influye la temperatura del agua en el valor de la densidad?
- ¿Qué otras variables influyen en dicho valor?
- ¿Cómo establecer la densidad del hielo? Proponga una experiencia sencilla que le ayude a dilucidar cuál de estos cuerpos tiene mayor densidad? Emita las correspondientes hipótesis.
- ¿Cómo puede determinar experimentalmente el valor de la densidad del hielo? Haga un diseño. Enséñelo a la profesora y después llévelo a cabo. Busque una justificación teórica a los valores que encuentre.

## ESTUDIO DE CUERPOS SUMERGIDOS EN AGUA

### Material

- \* Un dinamómetro.
- \* Piedras de diversos tamaños.
- \* Cristalizador.
- \* Vaso de precipitado.
- \* Agua.
- \* Cordel.
- \* Papel de aluminio.

### Procedimiento

- Amarre la piedra con el cordel y pésela con el dinamómetro.
- Llene el vaso de precipitados hasta el borde mismo con agua. Colóquelo dentro del cristalizador. Introduzca la piedra colgada del dinamómetro dentro del vaso. Observe lo que ocurre. ¿Pesa más o menos?
- Pese el agua recogida en el cristalizador. ¿Tiene alguna relación este valor con lo observado en el punto anterior?
- Tome una lámina de aluminio y dele forma de un pequeño bote. Hágalo flotar en un cristalizador con agua.
- Estruje luego el bote hasta que adquiera la forma de una esferita. Trate de hacerla flotar en el agua. ¿Qué ocurre?

### Cuestiones ductoras

- ¿Ha experimentado alguna vez un fenómeno similar? Explíquelo con detalle
- Si repite la experiencia con otros objetos y otros líquidos ¿variaría el resultado?
- Haga un diseño experimental para cuando utilice aceite, leche y tetracloruro de carbono. ¿Puede predecir los resultados antes de hacerlo? ¿Qué factores serían los determinantes?
- Explique el fenómeno observado en el caso de la lámina de papel metálico.

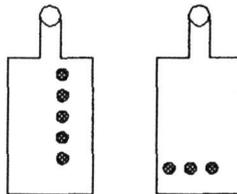
## LA FUERZA Y LA PRESIÓN EN EL INTERIOR DEL AGUA

### Material

- \* Botellas de plástico de 1 l y de 1/2 l.
- \* Bandeja de plástico o cubeta.
- \* Clavo.
- \* Agua.
- \* Aceite.
- \* Cinta adhesiva.

### Procedimiento y cuestiones ductoras

- Observe las botellas representadas en la figura. Imagínese que cierra los agujeros con cinta adhesiva y llena las botellas con agua. En ese momento quita la cinta adhesiva ¿Cómo saldría el agua? Dibuje los chorros que se originarían.
- Realice la experiencia y compare lo que ocurre con las predicciones que efectuó.  
Para ello:
  - Haga con el clavo tres o cuatro agujeros en la botella mayor (1 litro) teniendo en cuenta que estén todos en la misma vertical aunque a altura diferente. Haga lo mismo en otra botella pero realizando tres orificios al mismo nivel y a poca distancia de la base. Repita la operación con dos botellas de medio litro.
  - Coloque las botellas en una bandeja o cubeta. Tape los agujeros con cinta adhesiva. Llénelas con agua y quite una a una las cintas. Observe lo que ocurre con los chorros de agua en cada uno de los casos:
    - ¿ Son todas las trayectorias iguales?
    - Represente en un dibujo cada una de ellas.
    - Justifique los hechos observados.
- Repita la actividad anterior empleando sólo las botellas que tienen los orificios al mismo nivel pero llenas con líquidos diferentes:
  - Compare lo que ocurre
  - ¿Qué variables influyen en los resultados?
  - Establezca relaciones entre las variables. Intente llegar a una expresión matemática que las identifique.



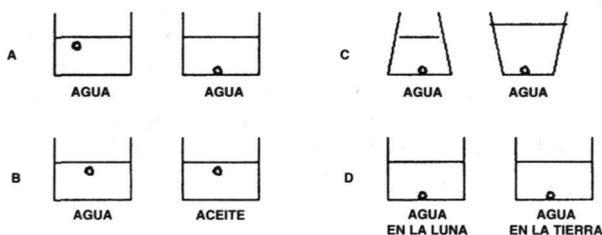
## ¿QUÉ SUCEDE AL SUMERGIR UN CUERPO EN AGUA? (I)

### Material

- \* Manómetro de aire libre.
- \* Probetas de diferentes tamaños.

### Procedimiento y cuestiones ductoras

- Observe los dibujos siguientes. Para cada caso indique dónde la presión es mayor. Justifique sus afirmaciones.



- Según ello, emita una hipótesis sobre todos los factores que influyen en el valor de la presión en el interior de un líquido.
- Para comprobar la hipótesis puede realizar la experiencia siguiente:
  - Construya una cápsula manométrica con un embudo y un papel de celofán; con ella y un manómetro de aire libre, mida la presión en el interior del agua contenida en un probeta, a diferentes profundidades.
  - Haga un dibujo esquemático que represente el montaje experimental.
  - Recoja los datos en una tabla, indicando qué variable está controlando. Dibuje la gráfica correspondiente
- Repita la experiencia pero midiendo la presión en el interior de diferentes líquidos a la misma profundidad. Utilice, por ejemplo, agua, aceite, leche, acetona, etc. Recoja los datos en una tabla y haga la correspondiente representación gráfica. Si en su hipótesis aparecen otros factores influyentes, haga el correspondiente diseño experimental para su comprobación.
- Analice los resultados y saque conclusiones:
  - Exprese cuáles son los factores que determinan el valor de la presión en el interior de los líquidos.
  - Intente escribir la ecuación matemática que los relaciona.
  - Compruebe si la ecuación propuesta coincide con la llamada «ecuación fundamental de la hidrostática». Interpretela.

## LA FUERZA DE EMPUJE EN EL AGUA

Todo el que se ha sumergido en el agua o ha intentado levantar algún objeto que está dentro de ella, está familiarizado con el fenómeno de empuje. Esto es debido a que cuando los objetos están sumergidos, el agua ejerce sobre ellos una fuerza ascendente cuya dirección es exactamente opuesta a la gravedad.

Esta fuerza se llama **fuerza de empuje o de flotación** y es una consecuencia de la presión la cual se incrementa con la profundidad. La presión se ejerce en cada punto del objeto una dirección perpendicular a su superficie. Las fuerzas que producen presión hacia los lados están a la misma profundidad y se cancelan entre sí. La presión es mayor contra la parte inferior del objeto debido a que esa parte se encuentra mayor profundidad. Dado que esta presión hacia arriba es mayor que la que se ejerce hacia abajo contra la parte superior, tales presiones no se cancelan y se tiene una presión neta distribuida en toda la superficie inferior del objeto que produce una fuerza ascendente neta, la fuerza de empuje.

Si el peso del objeto sumergido es mayor que la fuerza de empuje, el objeto se hundirá. Si el peso es igual al empuje sobre el objeto sumergido, este se mantendrá a cualquier nivel, como un pez. Si la fuerza de empuje es mayor que el peso del objeto completamente sumergido, éste subirá a la superficie y flotará.

### Cuestiones ductoras

- Comente a qué es debida la existencia de la fuerza de empuje que actúa sobre los cuerpos sumergidos.
- Enuncie el principio de Arquímedes
- ¿De qué depende el cambio de peso que experimenta un cuerpo sumergido en el agua? ¿ Con qué factor se relaciona directamente al empuje?
- Escriba la expresión matemática que define el empuje. ¿ Cómo lo determinaría experimentalmente?
  - Elabore una hipótesis sobre cómo hacerlo.
  - Explique de forma ordenada y esquemática la forma de proceder. Detalle los pasos a seguir y el material que necesite. Una vez hecho el diseño, enséñelo al profesor. Con su visto bueno, llévelo a la práctica. Acomódelo al material existente en su Centro. Recoja ordenadamente todos los datos.
  - Realice un informe destacando: las dificultades que haya tenido; variaciones que se le hayan ocurrido; errores que haya detectado. Utilice esquemas y dibujos.
  - Elabore un comenario personal de la investigación realizada y de los resultados obtenidos.
- Observe en un acuario cómo un pez puede nadar a diferentes profundidades ¿Cómo lo consigue? ¿Dependerá de la variación de alguna de las propiedades: masa, peso, volumen, densidad? Justifíquelo.
- Cuando se sumerge en el mar o en una piscina, conforme se hunde en el agua, ¿se incrementa la fuerza de empuje, decrece o permanece igual? ¿Por qué?
- El hierro es mucho más denso que el agua, pero un barco flota ¿Por qué?

## ARQUÍMEDES Y LA CORONA

### ACTO III *(En el laboratorio y un patio adyacente)*

#### **Narrador**

Arquímedes ya se encuentra en Siracusa. Hierón subió al poder y para celebrar su coronación dió una cantidad de oro a un famoso orfebre para que le hiciera una corona. Cuando el orfebre le presentó la corona, el rey sospechó que éste se había quedado con parte del oro y para averiguarlo fue a ver a Arquímedes.

*(Sube el telón y aparecen Arquímedes y Hierón en el patio)*

**Hierón:** Arquímedes ¿serías capaz de descubrir si esta corona está realizada toda ella en oro, o por el contrario no lo está?

**Arquímedes:** Lo intentaré pero no prometo nada *(cae el telón)*

**Narrador:** Arquímedes estuvo ocupado en este problema mucho tiempo hasta que cierto día al ir a bañarse...

*(Se abre el telón y aparece Arquímedes que se introduce en la bañera despacio, el agua se derrama, se levanta y vuelve a repetirlo, se queda pensativo)*

¡EUREKA, LO ENCONTRÉ!

*(En el escenario están: Hierón, Arquímedes, el platero y los soldados)*

**Arquímedes:** Hierón, tú me encargaste que averiguase si la corona era de oro puro, pero respetando su integridad, pues se trata de una obra artística. Para ello, he observado que, al bañarme, el agua rebosa de la bañera, luego «**un cuerpo sumergido en un fluido desaloja un volumen de dicho fluido igual al volumen del cuerpo sumergido**».

**Hierón:** Eso está bien ¿pero qué tiene que ver con mi problema?

**Arquímedes:** Vas a verlo (experimenta al mismo tiempo en un cubo)

- 1º) Te he pedido, como sabes, un lingote de oro puro que pese exactamente igual que la corona.
- 2º) En un recipiente con agua hasta el borde, he sumergido la corona y he medido el agua desalojada. Luego, lo he repetido con el lingote.
- 3º) La corona desplaza más agua que el lingote, luego no son del mismo material, dado que tiene igual masa pero distinto volumen.
- 4º) La corona no es de oro puro, pues desplaza más agua.

**Narrador:** A partir de este experimento Arquímedes descubrió también que «**todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje ascendente igual al peso del agua que desaloja**»

### Clave de lectura

1. ¿Por qué la corona desplaza más agua que el lingote?
2. Se sumergen dos objetos (por ejemplo: corona y lingote) en un fluido (por ejemplo: agua); complete el siguiente cuadro con I (igual) o D (diferente).

OBJETO		FLUIDO	
Naturaleza	Peso	Volumen	Cantidad desalojada
I	I		
D	I		
D		I	

3. Diseñe un experimento que le permita comprobar la disminución de peso que sufre un cuerpo al introducirlo en un fluido. Haga la experiencia y extraiga conclusiones.
4. Suponga que tenemos un cuerpo sumergido en un líquido. Analice lo que ocurre si el peso «P» y el empuje «E» guardan la siguiente relación:
  - Peso mayor que el empuje ( $P > E$ )
  - Peso menor que el empuje ( $P < E$ )
  - Peso igual al empuje ( $P = E$ )

Razone sus respuestas.

5. Imagine que un cuerpo flota en un líquido. ¿Qué relación existe entre el peso y el empuje?  
Intente deducir a partir del resultado anterior la relación entre el volumen total del sólido y el volumen de éste emergido.

## CONSTRUCCIÓN DE UN HIDRÓMETRO

### Material

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>* Pajitas de refresco.</li><li>* Perdigones.</li><li>* Arena fina.</li><li>* Anilla de goma.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>* Agua, aceite, vinagre, leche.</li><li>* Regla.</li><li>* Probeta de 500 ml.</li></ul> |
|--|---|

### Procedimiento

- Tome una pajita. Obture con cera o plastilina uno de los extremos. Por el otro, introduzca varios perdigones o arena hasta que la paja flote en posición vertical. Deje caer luego una gota de cera de forma que el lastre quede inmovilizado.
- Coloque un anillo de goma que pueda deslizarse por la paja y que actúe de indicador.
- En la probeta eche agua hasta los dos tercios de su capacidad. Introduzca la pajita que ha preparado (**hidrómetro**). Marque sobre ella el nivel del agua.
- Sáquela del agua y mida la distancia entre la señal y el extremo de la paja. Anote el valor expresado en centímetros ( $X$ ).
- Si consideramos que el peso específico del agua es igual a la unidad y que la sección de la paja es uniforme a lo largo de ella, puede graduar el hidrómetro para que mida el peso específico de diversos líquidos siempre que esté comprendido en un intervalo entre 0.6 y 1.2 mediante la proporción:

$$\frac{\text{PESO ESPECÍFICO DEL LÍQUIDO}}{\text{PESO ESPECÍFICO DEL AGUA}} = \frac{X}{\text{ALTURA DE LA PAJITA}}$$

### Cuestiones ductoras

- ¿Es lo mismo densidad que peso específico? Justifique la respuesta.
- ¿Conoce algún aparato que se utiliza tanto en la vida diaria como en el laboratorio, que tenga este mismo fundamento? Descríbalo con detalle.
- Busque una justificación científica de la proporción que aparece anteriormente.

## LUDIÓN<sup>1</sup>

### Material

- \* Botella de plástico con tapón de rosca
- \* Bolígrafo plástico.

### Productos

- \* Plomo o estaño.
- \* Pegamento.
- \* Agua.

### Procedimiento

- Llene la botella de agua.
- Quite al bolígrafo la carga de tinta. Introduzcáale unos trocitos de metal con objeto de que al meterlo en la botella quede colocado verticalmente y pegado prácticamente a la tapa de la botella. Conviene tener en cuenta que la entrada de agua por la parte inferior del bolígrafo no quede taponada.
- Cierre la botella perfectamente.
- Presione **suavemente** en diversas partes de la botella. Observe lo que ocurre.
- Presione con más fuerza hasta lograr que el bolígrafo descienda por la botella.

### Cuestiones ductoras

- ¿Qué ocurre si se introduce el bolígrafo, sin lastre de ninguna clase? ¿Qué misión tiene éste? Justifíquelo científicamente.
- Explique lo que ocurre cuando presiona suavemente la pared de la botella.
- ¿Qué principio físico puede deducirse de esta experiencia?
- Busque una explicación a lo que observe después de lograr que el bolígrafo descienda por la botella. ¿Qué conceptos físicos elementales están en juego? ¿Qué principio físico se aplica?
- ¿Tiene alguna relación esto con el fundamento del submarino?

<sup>1</sup> Es una bolita hueca y lastrada que, sumergida en un líquido, sube o baja según la presión que se haga en la superficie de éste. Este aparato lo ideó Descartes, siglo XVII, y lo hizo como juego, de ahí su nombre. Estaba formado por una botella en la que se introducía agua y una figura grotesca, a la que se llamaba *diablillo*, tapándose después la botella con una membrana. El juego consistía en observar las subidas y bajadas del diablillo al presionar sobre la membrana.

## LA BALANZA HIDROSTÁTICA

### Material

- \* Regla.
- \* Cristalizador o lata grande.
- \* 2 latas medianas.
- \* Taco de madera.
- \* Pesas.

### Procedimiento

- Construya una balanza, utilizando la regla y colgando de sus extremos dos cáncamos grandes que puedan servir para sujetar objetos.
- Pese en ella una lata grande con un trozo de madera compacta dentro. (No hace falta tomar nota del peso).
- Retire la balanza, saque el madero y coloque en su lugar otra lata más pequeña, llena de agua hasta el borde.
- Introduzca el taco de madera dentro de la lata pequeña. Observe lo que ocurre.
- Retire la lata pequeña con el taco de madera dentro y vuelva a colocar la lata grande en la balanza. Observe lo que ocurre e intente explicarlo científicamente.

### Cuestiones ductoras

- ¿Por qué se dice que no es necesario anotar el peso de la lata grande más el taco de madera?
- ¿Conoce una balanza hidrostática de laboratorio? Informe de su fundamento y utilización. Si en su centro hay una planifique una experiencia para emplearla y compárela con la que acaba de llevar a cabo.
- Haga una relación de las diferentes balanzas que se utilizan en el supermercado, laboratorio, hogar, industrias. Clasifíquelas según el criterio: «balanzas que miden masa» y balanzas que miden fuerzas».
- ¿Cuál utilizaría para medir la masa de una piedra en cualquier lugar del espacio?
- Planifique una experiencia que le permita determinar el volumen de un cuerpo utilizando una balanza.

## EL HUEVO FLOTANTE

### Material

- \* Huevo fresco.
- \* Vaso precipitados.
- \* Agua.
- \* Sal cocina.

### Procedimiento

- Llene el vaso con agua del grifo. Introduzca el huevo. Observe y dibuje lo que ocurre.
- Saque el huevo y añada varios puñados de sal. Remueva hasta que prácticamente toda la sal se haya disuelto.
- Introduzca el huevo de nuevo. ¿Qué ocurre? Dibújelo.

### Cuestiones ductoras

- Busque en la bibliografía a su alcance los datos necesarios para que pueda justificar adecuadamente sus observaciones.
- ¿Conoce algún fenómeno similar? Descríbalo razonadamente.

## LA PIEL DEL AGUA: TENSIÓN SUPERFICIAL (I)

### Material

- \* Pañuelo de tela o gasa.
- \* Plato llano.
- \* Goma elástica.
- \* Pañuelo de papel.
- \* Cestillo escurridor de plástico.
- \* Polvos de talco.

- \* Recipiente ancho.
- \* Pastilla de jabón.
- \* Tenedor.
- \* Agua.
- \* Alfiler o clip.
- \* Botella.

### Procedimiento y cuestiones ductoras

- Realice las siguientes observaciones:
  - forma que tienen pequeñas gotas de agua que han sido salpicadas en un cristal limpio;
  - forma que presenta la superficie del agua en un vaso que se ha llenado justo hasta el borde.
 Interprete y justifique las observaciones realizadas.
- ¿Podrá hacer que un alfiler flote en el agua? Llene el recipiente con agua. Coloque la el alfiler encima del tenedor.
  - Introduzca lentamente el tenedor con el alfiler (o clip) en el agua.
  - ¿Flota el alfiler? Anote lo que observe.
  - En el caso de que flote observe atentamente ¿Cómo está la superficie del agua en torno al alfiler? ¿Aparece plana? ¿Por qué?
- Eche agua en el plato, y espere a que el agua esté quieta e inmóvil, entonces espolvoree los polvos encima del agua. Toque ligeramente la superficie del agua empolvada, ¿que ocurre?... Seguidamente humedezca el dedo en agua y frótelo en la pastilla de jabón. Repita la operación. Anote las observaciones.
  - ¿Qué efecto ha ejercido el jabón sobre la superficie del agua espolvoreada?
- Llena la botella de agua, coloque el pañuelo en la boca de la botella y ténselo con el elástico.
  - Invierta la botella ¿Cae el agua? Anote las observaciones
- Rellene el recipiente con agua. Coloque cuidadosamente el cestillo sobre el agua ¿flota el cestillo?
  - Ponga un pañuelo de papel dentro de la cesta ¿Se hundirá la cesta? Razone sobre ello.
- Describa e interprete los fenómenos observados:
  - ¿Qué característica del agua es la responsable? Utilice los conocimientos que tiene acerca de la constitución del agua para explicar estos hechos. Compare sus explicaciones con la que aparece en la bibliografía para explicar los mismos hechos.
- Amplíe sus conocimientos a otros líquidos:
  - ¿Sucedería lo mismo en cualquier otro líquido? Prediga a modo de hipótesis lo que cree que sucedería en otros líquidos. Compruebe sus predicciones con dos líquidos que elija, por ejemplo, alcohol y aceite.
- ¿Conoce alguna aplicación en la vida cotidiana de estos fenómenos?
- Explique el hecho de que algunos insectos puedan caminar sobre el agua utilizando los conocimientos adquiridos.

## OBSERVEMOS E INTERPRETEMOS LA DIFUSIÓN DE UN COLORANTE EN AGUA

### Procedimiento y observación del fenómeno

- El profesor dispone dos cápsulas Petri en la parte central del retroproyector. Una de ellas la llena con agua fría y la otra con agua que ha calentado previamente hasta ebullición.
- Añada a cada una unas gotas de disolución diluida de colorante (permanganato potásico).
- Observe cómo se difunde el colorante en cada una de las cápsulas.

### Cuestiones ductoras

- ¿Se ha difundido el colorante con la misma rapidez en las dos cápsulas? Si ha percibido alguna diferencia, anótelo y después razone sobre la causa a la que puede deberse.
- ¿Cómo explica que al cabo de un cierto tiempo toda el agua esté coloreada?
  - Intente explicar, ayudándose de un dibujo por qué ocurre este fenómeno
- De los dibujos que el profesor le muestra para representar dicho fenómeno, señale los que considere que son incorrectos. Justifíquelo.
- Prediga a modo de hipótesis que ocurriría si disolviera:
  - Cristales azules de sulfato de cobre en agua.
  - Azúcar en agua.
- Represente mediante un dibujo dicho fenómeno.
- Compare las explicaciones que ha dado con las que figuran en la bibliografía recomendada por el profesor, sobre estos mismos hechos.

## RAZONEMOS E INVESTIGUEMOS SOBRE EL PROCESO DE DISOLUCIÓN

Cuatro compañeros se encuentran experimentando sobre el proceso de disolución: Carlos, Ángeles y María observan como su otro compañero deja caer unas gotas de colorante en un vaso con agua. Pasado un tiempo todo el agua tiene un aspecto azulado e intentan explicar lo que ha ocurrido:

- Imagínese la escena.
- Lea atentamente el diálogo que mantienen e intente responder a las cuestiones que se formulan sobre el mismo:

### Diálogo mantenido para explicar el fenómeno observado <sup>2</sup>

**CARLOS.** Hemos estudiado que el agua tiene moléculas. Intentaremos averiguar algo por ahí.

**MARÍA.** Para explicar esto no hace falta ningún rollo de moléculas. Total es como si pintaras una pared con la brocha, lo que ocurre es que se pintan las moléculas de agua.

**ÁNGELES.** Estoy de acuerdo con los dos

**MARÍA.** O también podríamos pensar que las partículas de colorante se meten dentro de las moléculas de agua. Pienso que eso es lo que pasa al disolver cualquier cosa azúcar en agua, por ejemplo. Las moléculas de azúcar se meten dentro de las de agua.

**CARLOS.** Pues yo creo que con lo de las partículas se explica todo. Se agitan, se entremezclan y ya está. Además, por eso, cuando el colorante lo echamos en agua caliente, todo este proceso es más rápido, ya que las partículas se agitan más.

### Cuestiones ductoras

- Indique con qué personaje está de acuerdo.
- Anote todos los argumentos que se le ocurran para rebatir las ideas de aquellos con los que no coincide.
- Escriba todas las palabras que podría utilizar para referirse a este fenómeno y posteriormente rellene la correspondiente ficha de vocabulario.

<sup>2</sup> Adaptada por MATO, M. C. de LLORENS, M. J. (1988): «La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje». *Investigación en la Escuela*, n.º 4.

## INVESTIGUEMOS SOBRE DISOLUCIONES

### Material

- \* Vaso de precipitados.
- \* Cucharilla.
- \* Azúcar o sal común.

### Otros materiales que estime necesarios:

- \*
- \*
- \*

### Procedimiento y cuestiones dctoras

#### *Actividad I*

- En un vaso lleno de agua, añada una cucharadita de azúcar o sal común.
- Anote lo que observa.
- Intente explicar lo que ha ocurrido.
- Enuncie una hipótesis sobre los hechos observados.
- Diseñe una/s experiencia/s para comprobar la hipótesis emitida.

#### *Actividad II*

- Emita una/s hipótesis sobre los factores de los que puede depender la velocidad de disolución del azúcar en agua.
- Haga el diseño experimental correspondiente para verificar las hipótesis. No olvide indicar las variables que intervienen.
- Realice la/s experiencia/s.
- Justifique las conclusiones a que llegue.
- Haga un informe con los resultados.

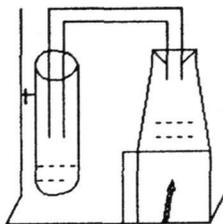
## DESTILACIÓN DEL AGUA DEL MAR (I) <sup>3</sup>

### Material

- \* Erlenmeyer 100 ml.
- \* Tubo de ensayo grande.
- \* Probeta.
- \* Agua de mar (10 ml).

### Procedimiento

- Eche los 10 ml de agua de mar en el erlenmeyer. Añada unos trocitos de porcelana porosa.
- Monte el aparato como el representado en la figura.



- Caliente el erlenmeyer con una llama pequeña de mechero Bunsen.
- Recoja el destilado sobre el tubo de ensayo.
- Realice una puesta en común con los diferentes grupos para discutir cómo pueden comprobar que el destilado recogido es agua pura.

### Cuestiones ductoras

- ¿Qué productos quedan en el erlenmeyer?
- ¿Para qué se añade porcelana porosa? ¿Puede sustituirla por algún otro producto?

<sup>3</sup> Es una experiencia muy elemental. Presenta la ventaja de necesitar muy poco material, por lo que pueden realizarla todos los alumnos. La cantidad de destilado se reduce a unas gotas.

## DESTILACIÓN DE AGUA DE MAR (II)

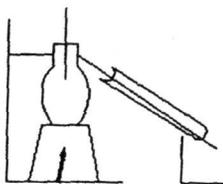
### Material

- \* Matraz de destilación.
- \* Termómetro -10 --110 °C.
- \* Refrigerante
- \* Vaso precipitados 100 ml.

- \* Porcelana porosa.
- \* Agua de mar.
- \* Agua del grifo.
- \* Cronómetro.

### Procedimiento

- Ponga agua de mar en el matraz hasta que alcance un tercio de su capacidad. Añada un poco de porcelana porosa.
- Tape el matraz con un tapón que lleve incorporado el termómetro teniendo cuidado para que el depósito de mercurio del mismo quede a la altura del brazo lateral del matraz.
- Monte el aparato siguiendo el dibujo. Caliente a ebullición. Anote la temperatura y compruebe si el líquido que está destilando tiene el mismo punto de ebullición del agua.
- Repita la destilación empleando agua del grifo.
- Compruebe las temperaturas de destilación.



### Cuestiones ductoras

- La pinza que sujeta el matraz debe estar situada por encima del brazo lateral. Explique razonadamente la causa.
- ¿Por qué debe colocarse el bulbo del termómetro de forma que quede a la altura del brazo lateral del matraz?
- ¿Podría servir un termómetro que sólo llegase hasta los 60 °C?
- ¿Existe alguna razón para que se recomiende que el matraz sólo se llene de agua hasta un tercio de su volumen?
- Represente gráficamente los datos obtenidos. ¿Qué tipo de gráfica se obtiene? ¿Qué puede deducir de ella?

## EL MAR COMO ELEMENTO DE RECREO

- Haga un estudio sobre la utilización del mar como elemento lúdico a lo largo de la historia.

- ¿Cuántos deportes conoce que se puedan practicar en el mar?

- Enumérelos.

- Elija uno de ellos e intente con los conocimientos adquiridos por su experiencia personal y con la ayuda de la bibliografía:

- \* Describir en qué consiste

- \* Expresar las condiciones que deben darse en los diferentes elementos que intervienen (mar, hombre, medios...) para que pueda practicarse.

- \* Buscar en qué principios científicos se fundamenta.

- \* Enumerar los posibles beneficios que reporte al hombre.

- Haga un mural —teniendo en cuenta que reúna todas las características didácticas pertinentes— donde se esquematice el estudio realizado.

## CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA

### Material

- \* Vaso de precipitados.
- \* Barras de grafito.
- \* Lápices.
- \* Pilas de petaca.
- \* Bicarbonato sódico.

- \* Tubos de ensayo.
- \* Electrodo de aluminio, plomo, zinc, hierro.
- \* Cables de conexión.
- \* Bombillas.
- \* Portalámparas.

### Procedimiento y cuestiones dctoras

- En un vaso de precipitados eche agua, hasta aproximadamente la mitad. Coloque dentro dos barras de grafito de forma que queden separadas. (Se pueden conseguir de una pila que ya esté agotada). También pueden sustituirse por dos lápices con punta en ambos extremos.
- Una los dos extremos de las barras o de los lápices a los polos de una pila de 4,5 V mediante cables de cobre.
- ¿Se nota algún cambio al hacer la conexión? ¿Qué tipo de enlace tiene la molécula de agua? Escriba su estructura. ¿Debe conducir la corriente?
- Añada al agua dos o tres gotas de ácido sulfúrico concentrado. ¿Qué observa ahora?
- Escriba las reacciones que han tenido lugar en el ánodo y en el cátodo.
- Coloque sobre cada electrodo un tubo de ensayo, que inicialmente haya llenado de agua. Al invertirlo tápelo con el dedo índice para que no se derrame el agua hasta que esté dentro de la cuba electrolítica. De esta forma podrá recoger los gases que se produzcan.
- ¿En cuál de los dos electrodos sube más cantidad y más rápido? Busque una explicación lógica y científica.
- ¿Observa alguna variación en el ánodo? ¿Cuál es la causa?
- Con mucho cuidado, repita la práctica anterior conectando los electrodos a la corriente de la red eléctrica en vez de la pila, pero previamente debe colocar en el circuito un rectificador de corriente muy elemental.
- Para construir el rectificador proceda de la forma siguiente:
  - En un vaso coloque dos láminas, una de aluminio y otra de hierro (o de plomo), añádale agua con bicarbonato sódico.
  - Coloque una bombilla en serie. Las láminas no se pueden tocar.
  - ¿Cree que influirá el orden de colocación de los elementos en el circuito?. Justifique la respuesta.
  - ¿Qué es un rectificador de corriente? ¿Por qué debe ponerse uno en el circuito?
  - Intente explicar porqué este tipo de montaje con dos metales de electronegatividades diferentes actúa como rectificador.

## CÓMO DETERMINAR EL CONTENIDO EN SALES DEL AGUA: TÉCNICA CONDUCTIMÉTRICA (I)

- Estudie el mecanismo de la conductividad en una disolución:
  - ¿Qué condiciones se requieren para que una disolución sea conductora? Planifique un diseño experimental que le permita comparar la conductividad de una disolución acuosa.
  - Ensaye con diferentes solutos: azúcar en agua, cloruro sódico en agua, ácido sulfúrico-agua, ... etc. Compruebe la conductividad en esos casos. Repita la experiencia con agua destilada y compare los resultados.
  
- A modo de hipótesis prediga lo que ocurriría al ensayar la conductividad de las disoluciones preparadas. Justifique científicamente sus predicciones.
  
- De forma cualitativa mediante el montaje experimental diseñado podrá establecer la conductividad. ¿Podría detectar cuantitativamente medidas de conductividad? Indique el procedimiento a seguir.
  
- ¿Qué denominación reciben los solutos que dan lugar a disoluciones conductoras?
  
- En el caso del agua natural, ¿qué sustancias son las responsables de la conductividad?
  
- Indique las especies presentes en el agua natural que puedan ser responsables de la conductividad.

## ESTUDIO SOBRE CONDUCTIVIDAD DE UNA DISOLUCIÓN

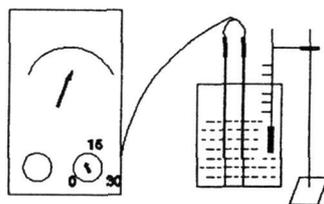
### Material

- \* Pipeta.
- \* Tubos de ensayo.

- \* Sal común.
- \* Conductímetro.

### Procedimiento y cuestiones ductoras

- Justifique razonadamente si existe alguna relación entre la conductividad de una disolución y la concentración de sales disueltas.
- Con objeto de establecer experimentalmente dicha relación prepare disoluciones de sal común de distinta concentración, tome 10 ml de cada una de ellas y dilúyalas hasta 100 ml.
- Mida, posteriormente, la conductividad de todas las disoluciones. Con los datos obtenidos y para una temperatura dada, haga una gráfica conductividad-concentración.
- ¿Para qué considera útil la determinación de los valores de salinidad? Realice un estudio sobre la salinidad de las aguas y cómo puede afectar al equilibrio ecológico.
- ¿Cómo y en qué medida afecta a los cultivos la salinidad de las aguas?
- Infórmese sobre los valores permisibles de salinidad en el agua de riego.
- ¿Qué consecuencias tendría para los cultivos el que se superara dicha salinidad? Describa la fundamentación científica de este hecho.
- Los conductímetros son aparatos que se usan para determinar la conductividad. Indique su fundamentación y realice un esquema que represente las distintas partes de que consta.
- ¿Influiría la temperatura en la determinación de la conductividad? Razone sobre la intervención de este factor y téngalo en cuenta en el diseño experimental<sup>4</sup>.



<sup>4</sup> La conductividad se suele dar a 20° C y se puede corregir la conductividad (C.E.) a otra temperatura (t° C) por la expresión: C.E. (20° C) = C.E. (t° C) [1-0,02 (20-t)]. Las conductividades deben ir expresadas en micromhos/cm.; estas unidades corresponden a inversas de resistencia eléctrica, o sea, 1/ohmio = ohm<sup>-1</sup> = "moh" = siemens = S; por tanto, micromhos/cm es lo mismo que μS/cm.

## ¿CÓMO DETERMINAR EL CONTENIDO EN SALES DEL AGUA MEDIANTE TÉCNICAS CONDUCTIMÉTRICAS?

### Material

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>* Pinza de bureta.</li> <li>* Conductímetro.</li> <li>* Balanza.</li> <li>* Termómetro.</li> <li>* Embudo buchner.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Kitasatos.</li> <li>* Soporte y aro metálico.</li> <li>* 3 vasos de precipitados de 250 ml.</li> <li>* Sal común.</li> <li>* Matraz aforado 100 ml.</li> </ul> |
|--|---|

### Procedimiento y cuestiones ductoras

- De acuerdo al material disponible diseñe el montaje experimental que le permita *determinar la conductividad de diferentes muestras de agua*.
- Represente esquemáticamente dicho montaje, así como el procedimiento a seguir para presentarlo en la puesta en común.
- calibre el conductímetro a la temperatura de trabajo.
- Utilice los vasos de precipitado para depositar unos ml de muestra en cada uno y determine la conductividad en cada caso.
- La determinación de la salinidad de un suelo es, asimismo, un parámetro importante para determinar si es adecuado para el desarrollo de ciertos cultivos:
  - Determine la salinidad de una muestra de suelo de jardín y de zona agrícola, para ello, le sugerimos el siguiente procedimiento:
    - Tome una muestra de unos 100 gramos del suelo correspondiente y deposítelos en un vaso de precipitado.
    - Añada agua destilada hasta saturación y agite.
    - Déjelo en reposo durante 15 minutos.
    - Filtre por medio de un embudo Buchner.
    - Mida la temperatura para hacer la corrección oportuna
    - Determine, en cada caso, la conductividad del líquido filtrado.
- Una vez determinada la conductividad es necesario aplicar un factor de conversión para transformar los valores de  $\mu\text{S/cm}$  en  $\text{mg/l}$ . Infórmese sobre este factor para aplicarlo.
- Realice un estudio sobre las consecuencias de los suelos muy salinos en los cultivos agrícolas. Infórmese y cite especies que toleren bien la salinidad.
- ¿Qué medidas se suelen tomar en los suelos salinos destinados a la agricultura?
- Mida la conductividad de una *disolución «problema»* y determine si puede utilizarse para el consumo o para el riego, de acuerdo con los datos de salinidad obtenidos de las experiencias anteriores.
- Compare los datos obtenidos para la conductividad de las distintas muestras y obtenga conclusiones.
- ¿Qué mejoras se podrían introducir para eliminar o disminuir la salinidad?
- ¿Qué inconvenientes presenta para el organismo el beber agua de mar u otras aguas con elevado contenido en sales minerales.
- ¿Cómo eliminaría la mayoría de las sales en un agua con mucho contenido en ellas?
- Lea el siguiente texto y elabore la clave de lectura propuesta.

## ARRHENIUS Y LA DISOCIACIÓN ELECTROLÍTICA

«Arrhenius publicó en 1884 un trabajo, en dos partes, que constituía su tesis doctoral, sobre "Investigaciones sobre la conductividad galvánica de los electrólitos". Describe un método para medir la resistencia de las disoluciones electrolíticas, extendido a grandes diluciones. Pero lo más importante no son estas medidas experimentales sino el desarrollo de unas ideas que fueron el germen de una teoría sobre la disociación electrolítica la cual aparece de forma definitiva en 1887.

En la segunda parte, Arrhenius aclara que "ha señalado primero la probabilidad de que los electrólitos puedan asumir dos formas diferentes una inactiva y otra activa: la parte activa es siempre, bajo las mismas condiciones externas (temperatura y dilución), una cierta fracción de la cantidad de electrolito. La parte activa conduce la electricidad y es en realidad electrolito, no así la parte inactiva".

En el artículo de 1884, Arrhenius no utiliza la palabra disociación en contraste con el artículo de 1887, en el cual la parte activa del electrolito se identifica con los iones libres, que actúan como entidades separadas en disolución.

Define el "coeficiente de actividad de un electrolito como la relación entre el número de iones que hay realmente en el electrolito, al número de iones que estarían presentes si el electrolito se convirtiera totalmente en moléculas electrolíticas simples".

Corresponde a lo que más tarde se llamó grado de disociación. Arrhenius amplió la hipótesis de Williamson y de Clausius, sugiriendo que la parte electrolítica activa debe ser capaz de una doble descomposición, cambiando continuamente las moléculas en iones de carga puesta formando un circuito cerrado. Como Clausius, él aceptó solamente una pequeña proporción de iones libres. Los iones se forman y se recombinan en el circuito y durante el proceso una cierta cantidad de electricidad (la combinada con el ión) se ha movido en una línea cerrada. Llamaremos a este fenómeno corriente circular. En un electrolito hay corrientes circulares permanentes (Lodge, 1885). Esta afirmación conecta con las ideas de Faraday y conduce a sus leyes.

Arrhenius afirmó que escogía el nombre de coeficientes de actividad más que grado de disociación electrolítica, como una medida de prudencia. Admitió que los cationes y aniones están asociados con cantidades definidas de carga positiva y negativa. Explicó la hidrólisis y llegó a interpretar numerosos fenómenos hasta el punto que Lodge afirmó que, aunque el título de la memoria era "La teoría química de los electrólitos", en realidad era algo más ambicioso: un intento de "una teoría electrolítica de la Química".

Resumiendo, se puede decir que para explicar la no conductividad de las sales sólidas y del agua pura cuando están separadas y la conductividad de las disoluciones acuosas de las sales, Arrhenius defendía que cuando las sales se disuelven en agua se disocian o ionizan en partículas cargadas que Faraday llamó iones. La diferencia está en que mientras Faraday postulaba que los iones eran producidos solo durante la electrolisis, Arrhenius proponía que estaban presentes en las disoluciones antes de aplicar la corriente eléctrica. Más tarde, en carta dirigida en 1887 a Van't Hoff expone que el cloruro sódico está parcialmente disociado, exactamente igual que afirmamos que el  $I_2$  está disociado a altas temperaturas, ahora bien, asumir esto, es decir, admitir que los electrólitos están parcialmente disociados y que se descomponen en sus iones puede creerse que es temerario. Pero, como estos iones están cargados con cantidades muy grandes de electricidad de signo opuesto, son condiciones que no sabemos tratar adecuadamente. En realidad, ésta fue la mayor dificultad con que tropezó la teoría de la disociación electrolítica.»

Adaptado de: GALACHE, M.I. y CAMACHO, E. (1992): «Un avance decisivo en el conocimiento de los iones: la teoría de Arrhenius de la disociación electrolítica». *Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), 307-311

### Clave de lectura

1. Haga un resumen del texto destacando las ideas principales.
2. ¿Qué otros científicos han trabajado en este campo?
3. ¿A qué se llama coeficiente de actividad?
4. ¿Qué relación tienen estas ideas con las de Faraday?
5. Elabore una ficha (según modelo adjunto) de los términos que desconozca.
6. Haga una revisión sobre el origen histórico del término ión.
7. Infórmese sobre la vida y obra de Faraday.
8. Enuncie las leyes de Faraday. ¿Qué importancia tienen?
9. Realice un mapa conceptual del término ión.

### ANVERSO DE LA FICHA

FICHA DE TÉRMINOS CIENTÍFICOS	
TÉRMINO	
ETIMOLOGÍA	
DEFINICIÓN CIENTÍFICA	
CONCEPTOS RELACIONADOS	

### REVERSO DE LA FICHA

FRASE ALUSIVA A LA UTILIZACIÓN DEL TÉRMINO:	
DATOS DE INTERÉS ( Ejemplos, aplicaciones, propiedades, reacciones, etc.)	
BIBLIOGRAFÍA:	

Lea el siguiente texto y elabore la clave de lectura:

### FARADAY

Faraday, nació cerca de Londres en 1791, su padre era herrero, tuvo que empezar a trabajar a los trece años como recadero en una librería. Después pasó a ayudante de encuadernador, este hecho le permitía leer muchos de los libros que encuadernaba y ello estimuló un ardiente interés por la ciencia. Faraday escribía en su juventud:

*Mientras fui aprendiz me gustaba leer libros científicos que caían en mis manos y entre ellos me deleitaba con las **Conversaciones de Química** de Marcel y los artículos de electricidad de la **Enciclopedia Británica**. Hice los experimentos sencillos que podían ser costeados por unos cuantos peniques a la semana y de este modo construí una máquina eléctrica, primero con un frasco de cristal y después con un verdadero cilindro así como otros aparatos eléctricos de clase análoga.*

Durante el último año de su aprendizaje, cuando acababa de cumplir los 20 años (y cuando los descubrimientos de Galvani y Volta eran todavía noticias recientes), escribió a su viejo amigo Benjamín Abbott:

*Últimamente he realizado unos cuantos experimentos galvánicos para aclararme a mí mismo los primeros principios de la ciencia. Yo fui a los Knight para obtener algún níquel y pensé que tendrían cinc maleable. Me enteré y compré algo- ¿ha visto usted alguno todavía?-. La primera porción que obtuve era de los trozos más delgados posibles y de forma plana. Según me informaron era bastante delgado para la varilla eléctrica o, como antes la llamé, la columna eléctrica de De Luc. Mi propósito era hacer discos, con los cuales y cobre formar una pequeña batería. La primera que terminé contenía el número inmenso de ¡siete pares de discos!, cada uno del inmenso tamaño de ¡medio penique!*

Yo, señor, corté por mí mismo siete discos del tamaño de medios peniques cada uno, los cubrí con siete medios peniques e interpuse siete, mejor dicho seis, trozos de papel empapados de una solución de clorhidrato de sodio. Pero no se siga riendo, mi querido Abbott, más bien sorpréndase del efecto producido por este trivial aparato. Fue suficiente para producir la descomposición del sulfato de magnesio – un efecto que me sorprendió sumamente, porque no tenía ni podía tener idea de que este agente fuera capaz de este resultado–. ¿Pensará usted que era el cobre lo que descomponía el sulfato terroso, la parte sumergida en la solución? De que se había producido un fenómeno galvánico estaba seguro, porque ambos alambres se cubrieron en poco tiempo de burbujas de algún gas y una corriente continua de burbujas, parecidas a pequeñas partículas, corrían a través de la solución desde el alambre negativo. Mi prueba de que el sulfato se había descompuesto fue que al cabo de dos horas, la solución antes clara se hizo turbia: el magnesio estaba suspendido en ella.

Este fue el descubrimiento de la descomposición química por medio de la corriente eléctrica o electrólisis, como la llamó Faraday.

GAMOW, G (1971): *Biografía de la Física*. Salvat/Alianza. Madrid, pp. 115-116.

### Clave de lectura

1. Haga una pequeña biografía de Faraday. ¿Qué científicos influyeron en su vida? ¿Qué otros descubrimientos realizó Faraday? ¿Qué importancia han tenido para la sociedad?
2. ¿Cómo fue el descubrimiento de la electrolisis?
3. Enuncie las leyes que dedujo Faraday de su descubrimiento.
4. ¿Qué aplicaciones tienen la electrolisis en la actualidad. Haga un informe sobre ello.
5. ¿Por qué se dice que con Faraday nació la **era de la Física moderna**?

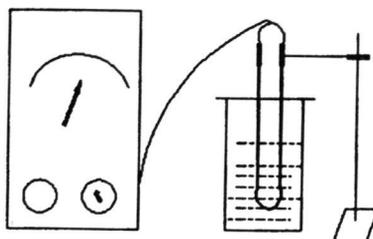
## DETERMINACIÓN DE ACIDEZ-BASICIDAD DEL AGUA

### Material

- \* Papel de tornasol.
- \* Papel Vira.
- \* Fenolftaleína.
- \* Anaranjado de metilo.
- \* pH-metro.
- \* Soluciones tampón (pH=7, pH=4).

### Procedimiento

- Estime el pH utilizando diferentes indicadores. Describa el procedimiento que seguiría y los materiales que habrá de emplear.
- Con un pH-metro determine el pH de diversas muestras de agua para ello calibre el aparato. Siga las instrucciones que lo acompañan. Como norma general puede hacer:
  - Ajuste el aparato con una disolución tampón de pH=7.
  - Repítalo con otra disolución de pH=4.
  - Haga las correcciones correspondientes según la temperatura.
- Introduzca el electrodo de pH en la disolución problema. Anote el resultado cuando la medida se estabilice.



### Cuestiones ductoras

- Defina pH.
- ¿Qué es una disolución tampón?
- Infórmese en la bibliografía sobre el procedimiento para preparar disoluciones tampones.
- ¿Influye la temperatura de la disolución en la determinación del pH? Explíquelo con detalle.
- ¿Qué son los indicadores? ¿Cómo se justifican químicamente sus propiedades? Con ayuda de la bibliografía, haga un informe.

## DETERMINACIÓN DE SALES DISUELTAS (I): IDENTIFICACIÓN DE CLORUROS

### Material

- \* 4 tubos de ensayo.
- \* Pipetas Pasteur (cuentagotas).
- \* Probetas de 5 ml o pipetas.
- \* Ácido nítrico concentrado.
- \* Nitrato de plata 0,1 M.
- \* Hidróxido de amonio.
- \* Carbonato de amonio.
- \* Fosfato dibásico de amonio.

### Procedimiento y cuestiones ductoras

- Ponga 3 ml de la muestra de agua en un tubo de ensayo; agregue unas gotas de ácido nítrico concentrado y luego unas gotas de nitrato de plata 0,1 M.
- Observe los cambios que tienen lugar y anótelos.
- Añada 2 ml de hidróxido de amonio concentrado y observe lo que pasa. Justifique los cambios que han ocurrido.
- ¿Si hubiera cloruros que reacción esperarías que se produjese?
- Formule la reacción correspondiente y tenga en cuenta su estequiometría.
- ¿En qué propiedad química y/o física se fundamentaría para identificar la presencia de cloruros? Indique una propuesta. Consulte la bibliografía recomendada y compare su propuesta con la que encuentre descrita.
- Clasifique la reacción formulada (transferencia de protones, transferencia de electrones, precipitación, ...).
- En el caso de que se formara un depósito sólido en el transcurso de la reacción, ¿qué espera que le suceda al añadir el hidróxido de amonio? Justifíquelo razonadamente.

## DETERMINACIÓN DE CLORUROS EN EL AGUA (Volumetría)

### Material

- \* Nitrato de plata, 0.1N.
- \* Cromato potásico.
- \* Bureta.
- \* Erlenmeyer.
- \* Cuentagotas.
- \* Varilla de vidrio.

### Procedimiento

- Tome un volumen de agua del grifo, exactamente medido, y échelo en el erlenmeyer.
- Añada unas gotas de cromato potásico que actúa como indicador.
- Llene la bureta con la disolución de nitrato de plata.
- Lleve a cabo la volumetría.
- Observe y describa lo que ocurre.

### Cuestiones ductoras

- ¿Cómo puede saber la cantidad de cloruros presente en la muestra de agua tomada?
- ¿Qué quiere decir «volumetría»? ¿Cuál es el fundamento químico de este procedimiento?
- ¿Qué datos son necesarios tomar? ¿Qué cálculos son necesarios?
- ¿Si utiliza como muestra agua destilada, obtendría los mismos resultados? Justifique su respuesta.

**DETERMINACIÓN DE SALES DISUELTAS (II)  
IDENTIFICACIÓN DE SULFATOS**

**Material**

- \* Tubos de ensayo.
- \* Ácido clorhídrico diluido (1:1).
- \* Pipetas Pasteur (cuentagotas).

- \* Cloruro de bario 0,1 M.
- \* Probetas de 5 ml o pipetas.

**Procedimiento y cuestiones ductoras**

- Deposite 3 ml de la muestra de agua en un tubo de ensayo. Añada 3 gotas de ácido clorhídrico diluido (1:1) y 1 ml de solución de cloruro de bario 0,1 M. Anote los cambios que ocurran.
- Estudie teóricamente qué tipo de propiedades (físicas o químicas) de los sulfatos podría utilizar o le conviene emplear para su identificación.
- ¿Qué tipo de reacción ocurrirá? Describa en qué tipo de propiedad física o química se fundamenta.
- Formule la reacción correspondiente
- Llévela a cabo: observe y anote lo que ocurre para su posterior justificación.
- Si una vez finalizada la reacción diluyera con unos 3 ml de agua, y en el caso de presencia de sulfatos, ¿qué espera que suceda?
- ¿Cómo clasificaría esta reacción?: ácido-base, oxidación reducción, de precipitación, etc.
- Indique según el caso, las transformaciones que tienen lugar en las sustancias reaccionantes hasta conducir a los productos de reacción (ruptura y formación de enlaces, cambios en el número de oxidación,... etc.
- Verifique si es sulfato de bario; al diluir con 3 ml de agua ¿continúa presente el precipitado? Anote sus observaciones y resultados.

## DETERMINACIÓN DE SALES DISUELTAS (II) DETERMINACIÓN DE CALCIO Y MAGNESIO

### Material

- \* Tubos de ensayo.
- \* Pipeta.
- \* Carbonato de amonio.
- \* Fosfato ácido de amonio.

### Procedimiento y cuestiones ductoras

- Deposite en un tubo de ensayo, aproximadamente, 5 ml de la muestra de agua y añada 1 ml de solución de carbonato de amonio: ¿Qué propiedad del calcio y del magnesio le podrían ayudar a su identificación en el agua?
- Indique la forma en que se encuentra el calcio y el magnesio en medio acuoso: ¿Qué diferencias fundamentales presentan con respecto al elemento?
- En el caso de que hubiera calcio presente. ¿Qué espera que ocurra al añadir la solución de carbonato de amonio? Formule la reacción correspondiente.
- Una vez que verifique la existencia del calcio. ¿Deberá separarlo para poder identificar el magnesio? ¿Por qué? Planifique el procedimiento a seguir.
- ¿Cómo identificaría el magnesio? Estudie teóricamente en que propiedades se puede fundamentar su determinación.
- Si le añadiera a la solución, una vez, separado el calcio 1 ml de fosfato ácido de amonio ¿Qué reacción tendría lugar con el magnesio presente? Escriba la reacción correspondiente e indique las transformaciones que se han producido en las sustancias reaccionantes.

## DETERMINACIÓN DE CARBONATOS Y BICARBONATOS

### Material

- \* Bureta.
- \* Erlenmeyer.
- \* Cuentagotas.

- \* Fenolftaleína.
- \* Ácido sulfúrico 1N.
- \* Anaranjado de metilo.

### Procedimiento

- Tome una muestra de 50 ml de agua del grifo.
- Añada unas gotas de fenolftaleína.
- Observe si se produce un cambio de coloración.
- Llene la bureta con la disolución de ácido sulfúrico 1 N y valore con ella la muestra de agua. El punto final será cuando desaparezca la coloración.
- Añada unas gotas de anaranjado de metilo y continúe añadiendo ácido sulfúrico (sin volver a enrasar la bureta). Cuando vire al rojo vivo sabrá el volumen empleado en valorar los carbonatos más los bicarbonatos presentes en la disolución.

### Cuestiones ductoras

- ¿Qué misión desempeña la fenolftaleína?
- ¿Por qué adquiere color el agua? ¿Qué nos indica?
- ¿Cómo puede calcularse la cantidad de carbonatos presente en el agua?
- ¿Son importantes las sales de las aguas para la salud?
- Realice un estudio bibliográfico sobre: dureza, acidez, potabilidad.
- Explique la causa de la formación de precipitados blancos en las canalizaciones del agua.
- Antes de efectuar los cálculos hemos de considerar que los bicarbonatos encontrados tienen dos orígenes diferentes:
  - Los procedentes de la reacción de valoración de los carbonatos con el ácido y que son tantos meq. como los carbonatos.
  - Los que existían realmente antes de valorar los carbonatos.

$V_2$ : corresponde al volumen de carbonatos y bicarbonatos.

$V_1$ : es el volumen de carbonatos procedente de carbonatos.

$V_2 - V_1$  es el volumen correspondiente al bicarbonato existente inicialmente.

$$(V_2 - V_1) - V_1 = V_2 - 2V_1$$

meq de  $\text{HCO}_3^-$  originales en muestra =  $(V_2 - 2V_1) N$

**DETERMINACIÓN DE SALES DISUELTAS (IV)  
LA ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN**

**Material**

- \* Arcilla.
- \* Agua.
- \* Sulfato de aluminio 1 M.
- \* Hidróxido de sodio diluido 1:1.

**Procedimiento y cuestiones ductoras**

- Triture un pequeño trozo de arcilla en 2 ml de agua. A continuación agregue 5 ml de agua y mézclelo completamente.
  
- Divida la mezcla en dos porciones poniéndolas en otros dos tubos.
  
- Añada a uno de los tubos 5 gotas de solución de sulfato de aluminio y una gota de hidróxido de sodio diluido (1:1).
  
- Sacuda la mezcla de cada uno de los tubos. Colóquelos en la gradilla y observe durante 5 minutos a intervalos de 1 minuto, la velocidad de clarificación. Anote todas las observaciones.
  
- ¿En qué procesos físicos y/o químicos se fundamenta este procedimiento? ¿Qué diferencias hay entre el tratamiento del agua para uso industrial y el doméstico?
  
- Infórmese sobre los métodos que emplean las industrias locales para la recuperación del agua utilizada en sus procesos. Emita su opinión sobre la importancia de este tratamiento para el equilibrio ecológico.

## DETERMINACIÓN DE LA DUREZA PERMANENTE: MÉTODO DE BOUTRON Y BOUDET (I)

### • *Disolución valorada de jabón*

#### **Preparación: operaciones previas**

- Disuelva 20 gramos de jabón cortado en trozos pequeños en 520 ml de alcohol de 56 °. Al cabo de varias horas filtre la disolución y valórela.
- Para la valoración emplee una disolución de sales báficas. Puede utilizar:
  - a) una disolución preparada disolviendo 0.537 g de cloruro báfico cristalizado en agua hasta completar un litro de disolución. O bien,
  - b) Disuelva 0.574 g de nitrato báfico puro (desechado a 100 ° C) en agua hasta obtener 1 litro de disolución.

### • *Valoración*

- Mida 40 ml exactamente de la sal báfica. Viértala en un frasco de unos 100 ml de capacidad con tapón esmerilado.
- Llene el hidrotímetro con la solución de jabón hasta el 0.  
Añada la solución al frasco poco a poco, agitando fuertemente. Observe lo que ocurre. ¿A qué se debe? ¿ Qué producto será?
- Continúe añadiendo solución hasta que se forme espuma persistente que dure unos cinco minutos como mínimo.

**Precaución:** La solución de jabón debe tener una concentración tal que se necesiten 23 divisiones para la formación de espuma. Si está más concentrada debe diluirse. Por ejemplo, si sólo se utilizan 18 divisiones para la formación de la espuma plantearíamos la proporción:

$$\frac{18}{5} = \frac{500}{x} \longrightarrow x = 138,8 \text{ ml}$$

Se añadirían a 500 ml de la solución jabonosa 138,8 ml de agua y se volvería a valorar.

**Nota.** Si el agua es muy dura se toma menos cantidad de ella ( 20 ml, 10, 5 ..) y se diluyen con agua destilada completando el volumen a 40 ml. Una vez calculado el grado hidrotimétrico debe multiplicarse por 2, 4, 8....) Intente explicar este proceder.

## DETERMINACIÓN DE LA DUREZA PERMANENTE: MÉTODO DE BOUTRON Y BOUDET (II)

### Materiales

#### *Bureta hidrotimétrica o hidrotímetro*

Es una bureta pequeña con una graduación diferente a las usuales, de tal forma que el espacio correspondiente a 2.4 ml está dividido en 23 partes iguales. El 0 está colocado en la segunda división, de esta manera en el lugar que correspondería 2.4 ml se marca la división 22. Se hace así porque se necesita la cantidad de jabón que comprende una división para que se forme espuma persistente con 40 ml de agua destilada.

Puede utilizarse también una bureta normal dividida en décimas de mililitro (0.1 ml) haciendo luego la transformación a grados hidrotimétricos sin más que considerar que 2.4 ml equivalen a 23 divisiones y que la primera división no se tiene en cuenta.

#### • *Determinación de la dureza*

- Tome 40 ml de agua.
- Añada porciones de la disolución jabonosa agitando fuertemente hasta conseguir espuma persistente.
- Lea la división del hidrotímetro. Esta división indica el grado hidrotimétrico del agua.

#### • *Determinación de la dureza temporal*

Se deduce de la alcalinidad del agua es decir de su riqueza en bicarbonatos térreos.

- Coloque 100 ml de agua en un Erlenmeyer.
- Añada unas gotas de anaranjado de metilo.
- Neutralice con ácido clorhídrico 0.1 N hasta el cambio de color del indicador.
- La dureza temporal vendrá expresada por:

**número de mililitros de HCl 0.1 N gastado × 5 grados franceses**

#### • *Medida relativa de la dureza*

- Prepare una disolución de jabón, para ello eche de 15 ó 20 gramos de jabón de afeitar en un litro de agua. Esta disolución se suele enturbiar. Para evitarlo puede prepararse utilizando 500 ml de agua y otros 500 ml de alcohol.
- Vierta 50 ml de agua en un frasco.
- Añada 1 ml de la disolución de jabón.
- Tape el frasco y agite
- Vuelva a añadir los ml de disolución jabonosa hasta conseguir espuma permanente.
- Los mililitros gastados nos indicaran aproximadamente el grado de dureza.

## EL PODER DISOLVENTE DEL AGUA

<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Vasos de precipitado</li> <li>* Tubos de ensayo</li> <li>* Varilla agitadora</li> <li>* Espátula</li> <li>* Vidrios de reloj</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sulfato de cobre</li> <li>* Alcohol</li> <li>* Yodo</li> <li>* Hidróxido cálcico</li> <li>* Gasolina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Azúcar</li> <li>* Azufre</li> <li>* Cloruro sódico</li> <li>* Aceite</li> <li>* Otros sugeridos por los alumnos</li> </ul>
<p><b>Cuestiones ductoras</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Qué le ocurre a una sustancia cuando se disuelve? ¿Qué cambios tienen lugar?</li> <li>- ¿Qué causas son las que determinan que una sustancia se disuelva?</li> <li>- ¿Cómo podrías explicar el proceso de disolución?</li> <li>- ¿Qué factores son los que establecen que una sustancia se disuelva en un determinado disolvente o no?</li> <li>- Entre las sustancias ensayadas no figura ninguna que sea gaseosa. Conoce algún gas que se disuelva en el agua? Indíquelos. ¿Podría sugerir alguna forma de llevar a cabo esa disolución y comprobar o detectar experimentalmente la solubilidad de ese gas en agua?</li> <li>- Indique el procedimiento que seguiría para averiguar la solubilidad en agua de una determinada sustancia.</li> <li>- Antes de cada ensayo intente predecir lo que espera que ocurra. Compare con posterioridad los resultados obtenidos con las predicciones realizadas. ¿En qué se fundamentan las predicciones que ha hecho?</li> <li>- Ensaye para cada una de las sustancias seleccionadas la solubilidad y complete con los resultados obtenidos un cuadro como el siguiente:</li> </ul>		
<p><b>Nombre de la sustancia:</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción física (elemento, compuesto, sólido, líquido, cristalino, color,... etc.).</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aspecto que presenta la mezcla del agua con la sustancia.</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soluble/No soluble. (Caso de ser soluble especifique si la solubilidad es pequeña o grande.)</li> </ul>		

## SOLUBILIDAD DE LA SAL COMÚN

### Material

- \* Sal común.
- \* Cápsula de porcelana.
- \* Balanza.
- \* Vaso precipitado.
- \* Baño de arena.

\*  
\*  
\*  
\*

### Procedimiento

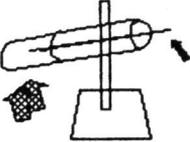
- Prepare 50 ml de disolución saturada de cloruro sódico.
- Tome 5 ml exactamente medidos de esta solución
- Caliente para evaporar a sequedad empleando un baño de arena
- Si el residuo seco es X, ¿cómo puede calcular la solubilidad? Infórmese en la bibliografía recomendada por el profesor.
- Repita las determinaciones tomando siempre 50 ml de agua pero a diferente temperatura: 40, 60, 80, y 100 °C
- Represente gráficamente (solubilidad/ temperatura) los datos obtenidos. Deduzca alguna conclusión y si puede expréselo matemáticamente.

### Cuestiones ductoras

- ¿Qué utensilio/s puede utilizar para medir con precisión los 5 ml propuestos anteriormente?
- ¿Por qué se recomienda la utilización de un baño de arena? ¿Qué misión tiene? ¿Puede emplearse un baño maría? Justifique sus respuestas.
- Dibuje<sup>5</sup>, a título de hipótesis, una gráfica en que se represente cualitativamente, la variación de la densidad,  $d$ , de una disolución acuosa de cloruro sódico en función de la concentración,  $C$ .
- Haga el diseño experimental correspondiente para verificar la hipótesis emitida en el punto anterior.

<sup>5</sup> Actividad tomada de BELTRÁN, J. y otros (1983): *Física y Química*, 2.º. Anaya. Madrid, pp. 339.

## DISOLUCIÓN CLORURO SÓDICO-AGUA. Determinación del punto de ebullición

<b>Material</b>	<b>Productos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>* Tubo ensayo grande</li><li>* Termómetro (0-360)</li><li>* Porcelana porosa</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Agua</li><li>* Cloruro sódico</li></ul>
<p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Cada grupo debe preparar una disolución de cloruro sódico en agua variando la concentración a fin de comparar su incidencia en el punto de ebullición de la disolución:<ul style="list-style-type: none"><li>• Grupo 1: al 5 % en peso</li><li>• Grupo 2: al 10 % en peso</li><li>• Grupo 3: al 15 % en peso</li><li>• Grupo 4: al 20 % en peso</li></ul></li><li>- Viertan parte de la disolución en el tubo procurando que no exceda de la mitad del mismo.</li><li>- Introduzca el termómetro de forma que el bulbo quede sumergido en el líquido, sin tocar las paredes ni el fondo del tubo. Añada unas porciones de porcelana porosa.</li><li>- Colóquelo como indica la figura:</li></ul> <div style="text-align: center;"></div> <ul style="list-style-type: none"><li>- Caliente con el mechero tomando la temperatura cada minuto hasta que observe que ésta permanece constante.</li></ul>	
<p><b>Cuestiones ductoras</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- ¿Cuántos gramos de cloruro sódico tiene que utilizar? Haga los cálculos correspondientes justificando las operaciones que efectúe.</li><li>- ¿Cómo podría expresarse también la concentración de la disolución?</li><li>- ¿Para que se añade la porcelana porosa? ¿Por qué puede sustituirla si no tiene en el laboratorio?</li><li>- ¿Por qué se especifica la colocación del termómetro de esta manera?</li><li>- ¿Cuál será la temperatura de ebullición de la disolución? ¿Será mayor o menor que la del agua pura?</li><li>- ¿Por qué se advierte que caliente hasta que la temperatura permanezca constante?</li></ul>	

## DENSIDAD DE UNA DISOLUCIÓN ACUOSA DE CLORURO SÓDICO

### Material

- \* Picnómetro
- \* Termómetro
- \* Vaso de precipitados

### Productos

- \* Disolución de cloruro sódico preparada anteriormente
- \*

### Procedimiento

- Pese el picnómetro vacío.
- Llénelo con la disolución problema preparada anteriormente.
- Determine la masa de la disolución contenida en dicho volumen.
- Con estos datos calcule el valor de la densidad.

### Cuestiones ductoras

- Si no dispone de picnómetro ¿qué utensilio podría usar? ¿Cometería algún error?
- ¿En qué unidades puede expresar el valor de la densidad?
- ¿Es lo mismo densidad que peso específico?
- ¿Influye la temperatura del agua en el valor de la densidad?
- ¿Qué otras variables influyen en dicho valor?
- En la puesta en común anote los valores de la concentración y la densidad obtenidos por los otros compañeros.
- Representelos gráficamente e interprete la curva obtenida.
- Busque una justificación teórica a los valores determinados.

## ¿A QUÉ TEMPERATURA SE FUNDE UNA DISOLUCIÓN ACUOSA DE CLORURO SÓDICO?

**Material** (indique el necesario):

- \*
- \*
- \*
- \*

### Procedimiento

- \* Realice un diseño experimental que le permita determinar a qué temperatura una disolución acuosa de cloruro sódico previamente solidificada pasa a líquida. Muéstrela al profesor/a y llévela a cabo.

### Cuestiones ductoras

- ¿Cómo se llama el paso de una sustancia del estado sólido al líquido?
- ¿Existe/n alguna/s ley/es que rijan este fenómeno?
- ¿Es un fenómeno físico o químico? ¿Por qué?
- ¿Influye la presión en la temperatura a la que se produce la fusión?
- ¿Qué otras variables pueden influenciar el fenómeno?
- ¿Conoce alguna aplicación en la vida diaria de esta «influencia»? ¿Sabe qué leyes la cuantifican?
- ¿A qué se llama calor de fusión de un cuerpo?

## DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE FUSIÓN DE UNA DISOLUCIÓN ACUOSA DE CLORURO SÓDICO

### Material

- \* Vaso de precipitados.
- \* Termómetro  $-10^{\circ}\text{C}$  /  $-100^{\circ}\text{C}$ .
- \* Mortero.
- \* Disolución de cloruro sódico.
- \* Cronómetro.

### Procedimiento

- Llene el vaso de precipitados con la disolución acuosa de cloruro sódico previamente preparada. Introdúzcalo en el congelador y déjelo hasta el día siguiente.
- Saque la disolución congelada y tritúrela finamente con ayuda de un mortero.
- Introduzca el termómetro y anote la temperatura.
- Repita la operación, cuando empieza a fundir y cada cinco minutos hasta que ésta permanezca constante y todo el sólido haya desaparecido.

### Cuestiones ductoras

- ¿Puede ser la temperatura de la disolución menor de  $0^{\circ}\text{C}$ ?
- ¿Cuál es la temperatura más baja que ha determinado?
- Cuando el sólido está fundiendo ¿qué temperatura marca el termómetro? ¿Cuánto tiempo permanece este valor? Intente explicar científicamente este hecho.
- Compare el valor obtenido por su grupo con los restantes. Intente justificar científicamente los diferentes valores obtenidos. ¿Qué variables influyen en estas experiencias?

<b>CLARIDAD - TURBIDEZ</b>	
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Etiquetas.</li> <li>* Rotulador.</li> <li>* Frascos de vidrio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Papel adhesivo.</li> <li>* Muestras de agua de distintas procedencia.</li> </ul>
<p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Llene frascos de vidrio con las muestras de agua.</li> <li>- Escriba en cada una de las etiquetas una letra con rotulador, la misma en cada una de ellas.</li> <li>- Pegue con papel adhesivo las etiquetas a los frascos y mire las letras a través de ellos.</li> </ul>	
<p><b>Cuestiones ductoras</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Qué observa? Haga un informe intentando dar una explicación científica a sus observaciones.</li> </ul>	

<b>DETERMINACIÓN DE RESIDUOS A SEQUEDAD</b>	
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Vaso de precipitados</li> <li>* Cápsula de porcelana</li> <li>* Mechero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Balanza</li> <li>* Matraz aforado 100 ml</li> </ul>
<p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Llene hasta el enrase el matraz de 100 ml con agua.</li> <li>- Échela en un vaso de precipitados y caliente para que se evapore hasta que quede una pequeña cantidad.</li> <li>- Cámbiela a una cápsula de porcelana y caliente a sequedad.</li> <li>- Pese el residuo que quede en la cápsula.</li> </ul>	
<p><b>Cuestiones ductoras</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cuántos cambios de estado se producen en esta experiencia? ¿Tienen alguna influencia en ellos la presión a la que se realiza?</li> <li>- ¿Cómo calcula numéricamente el valor del residuo seco?</li> <li>- ¿Cómo está formado este residuo?</li> </ul>	

## ¿RETIENE AGUA EL SUELO?<sup>6</sup>

### Material

- \* Muestras de suelos.
- \* Cedazos o tela plástica o metálica.
- \* 2 probetas.
- \* Balanza.

- \* Papel de filtro, gasa.
- \* Embudos.
- \* Cucharilla.



### Procedimiento

- Tome varias muestras de suelos diferentes.
- Con ayuda de un cedazo separe las partículas más gruesas. Si no tiene cedazo puede sustituirlo por un trozo de tela metálica o plástica.
- Pese una cantidad determinada de la tierra cernida.
- Prepare un embudo con su correspondiente filtro. Colóquelo sobre una probeta y eche en él la tierra pesada. Añada lentamente una cantidad de agua, previamente medida.
- Al cabo de un tiempo (cuando ya no gotea), mida la cantidad de agua que hay en la probeta.
- Repita todos los pasos con las diferentes muestras de tierra.

### Cuestiones ductoras

- ¿Puede con los datos anteriores calcular el agua que retiene la tierra?
- Clasifique las distintas muestras según el agua que son capaces de retener.
- ¿Qué organismos viven en la tierra que retiene más agua?
- ¿Qué variables influyen en la escorrentía de un suelo determinado?
- ¿Existe alguna relación entre la textura al tacto de una tierra y su capacidad de retención de agua?
- Idea otro procedimiento que sirva para determinar experimentalmente la retención de agua por un suelo.

<sup>6</sup> La facilidad para retener el agua depende del tipo de suelo. Así, por ejemplo, los arcillosos retienen mucha agua y se encharcan frecuentemente, mientras que los arenosos retienen poca. Lógicamente los suelos presentan una mezcla de tierras de tipo diferente y con un tamaño de partículas también muy variado.

Por la llamada «capilaridad», el agua de un suelo puede ascender, oponiéndose a la gravedad. Esta es la razón principal de cubrir el suelo con picón. No sólo es un buen aislante y tiene gran capacidad de captación de agua, sino que impide la evaporación, por evitar el fenómeno de la capilaridad, ya que el agua al ir ascendiendo por un capilar y llegar a un espacio grande de un pozo, por ejemplo, su tensión superficial disminuye por la lejanía de las paredes y le impide seguir ascendiendo. La situación de los terrenos «enarenados» es similar. Por otra parte, evita que la salinidad del suelo llegue a las raíces de las plantas.

## ¿CÓMO SE MUEVE EL AGUA EN EL SUELO? (I)

### Material

- \* Cristalizadores.
- \* Regla milimetrada.
- \* Tubos pequeños y delgados de cristal o plástico transparente.
- \* Algodón.
- \* Muestras de suelos de diferente naturaleza.

### Procedimiento

- Llene cada uno de los tubos con una muestra diferente de suelo, previamente tamizado y tápelos con trozos de algodón.
- Llene cada uno de los cristalizadores con agua.
- Coloque verticalmente cada uno de los tubos apoyándolos en el fondo de cada cristizador por la parte del tubo cerrada con el algodón.
- Observe lo que ocurre.
- Determine la altura de tierra húmeda a intervalos regulares de tiempo.

### Cuestiones ductoras

- ¿En todas las muestras alcanza una altura igual la parte humedecida en el mismo tiempo? ¿Cómo podría comprobarlo? Sugerencia: Haga una representación gráfica de la altura en función del tiempo.
- ¿A qué se llama capilaridad?

## ¿CÓMO SE MUEVE EL AGUA EN EL SUELO? (II)

### Material

- \* Vasos de precipitados.
- \* Embudo.
- \* Bureta.
- \* Muestras de suelo.
- \* Cronómetro.
- \* Regla milimetrada.
- \* Agua.

### Procedimiento

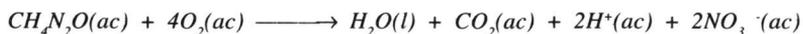
- Llene el vaso con una de las muestras de tierra de forma compacta.
- Añada agua lentamente: gradúe la salida del agua a través de una bureta.
- Mida como sube el frente húmedo gravitacional con relación al tiempo transcurrido.
- Repita la experiencia con cada una de las muestras de tierra.
- Compare las diferentes tipos de tierra analizados y ordénelos según un criterio. Para poder comparar los resultados ¿Qué variables se han de controlar?

### Cuestiones ductoras

- ¿De quién/es depende la velocidad de avance?
- ¿A qué se llama porosidad?
- Explique en qué consiste el enarenado de un suelo. ¿Qué función desempeña?
- ¿En qué zonas de las Islas se usa cubrir los suelos con picón? ¿Por qué?

## DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL AGUA: DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO

- Infórmese en la bibliografía recomendada sobre el significado de la «Demanda biológica de oxígeno»:
  - Justifique razonadamente la utilización de este parámetro como indicativo de la contaminación del agua por materia orgánica:
  - Complete una tabla de valores en la que indique cual es el valor de este parámetro en distintos tipo de aguas (potable, residuales urbanas, industriales de diferente procedencia, .... etc.).
  - Estudie las reacciones metabólicas de transformación de la materia orgánica presente en el agua mediante los microorganismos descomponedores. Complete con los datos los siguientes apartados:
    - Características de las moléculas orgánicas.
    - Tipo de microorganismos descomponedores.
    - Productos finales de la transformación.
    - Representación esquemática de las reacciones correspondientes (reaccionantes, productos de la reacción, balance energético).
    - Comente la importancia de estas transformaciones bioquímicas para el equilibrio ecológico del medio ambiente, así como la utilidad de la determinación del DBO para establecer la contaminación orgánica de las aguas.
- La urea es el producto final de metabolismo de las proteínas en los animales. Suponga que las bacterias aeróbicas pueden descomponerla de la forma siguiente:



- ¿Cuál es la demanda biológica de oxígeno (DBO), de una masa de agua que tiene un volumen total igual a  $3,0 \times 10^6$  litros, si entran 30 kg de urea?
- Infórmese sobre el procedimiento que se sigue en el laboratorio para determinar la DBO, de tal forma que le sirva para poder abordar usted mismo dicha determinación. Realice un esquema con los distintos pasos a seguir.

**DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO.  
PREPARACIÓN DE REACTIVOS (I)**

**Material**

* $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .	* $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .	* $\text{NaN}_3$ .	* Agua destilada.
* $\text{CaCl}_2$ anhidro.	* $\text{NH}_4\text{Cl}$ .	* $\text{MnSO}_4$ .	* Matraces aforados.
* $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .	* $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .	* FK.	* Buretas.
* $\text{K}_2\text{HPO}_4$ .	* $\text{NaOH}$ .	* Almidón.	* erlenmeyer.
* $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .	* NaI.	* $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .	

1. *Preparación de disolución patrón:*
  - A 1 litro de agua destilada, añada 1 ml de la disolución formada por:
    - $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0,25 g/l.
    - $\text{CaCl}_2$  anhidro ... 27,5 g/l.
    - $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  . 22,5 g/l.
2. *Disolución tampón de fosfato a PH 7,2:*
  - Disuelva en 1 litro de agua destilada las siguientes sustancias:
 

$\text{K}_2\text{HPO}_4$ .....	21,75 g.
$\text{KH}_2\text{PO}_4$ .....	8,50 g.
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .	33,40 g.
$\text{NH}_4\text{Cl}$ .....	1,70 g.
  - Una vez preparada la disolución, agítela durante 5 minutos para airearla.
3. *Disolución alcalina de yoduro-azida sódica:*
  - Disuelva en unos 900 ml de agua destilada los siguientes compuestos:
 

$\text{NaOH}$ .....	500 g.
$\text{NaI}$ .....	135 g.
  - Prepare la disolución de azida sódica disolviendo 10 g de  $\text{NaN}_3$  en 40 ml de agua destilada.
  - Añada a la disolución (fría) preparada primeramente la disolución de azida y complete con agua hasta 1 litro.
  - Conserve la disolución en un frasco o botella con tapón de goma.
4. *Disolución de  $\text{MnSO}_4$ :*
  - Prepárela disolviendo 40 g de  $\text{MnSO}_4$  por litro de agua.
5. *Disolución de fluoruro potásico ( $\text{KF} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ):*
  - Disuelva 40 g de  $\text{KF} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  por litro.
6. *Disolución valorada de tiosulfato sódico ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ), 0,0125 N.*
  - 1 ml de esta disolución equivale a 0,1 mg de oxígeno.
  - Pese exactamente 0,15-0,20 g de dicromato potásico ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), desecado en estufa a 120-130° C, durante dos horas y disuélvalos luego en un vaso con 25-50 ml de agua.
  - Añada 25 ml de disolución de KI al 10% y 5-10 ml de ácido sulfúrico diluido (1:4) y agite.
  - Después de 1-2 minutos diluya con agua hasta 400-500 ml.
  - El yodo liberado por el dicromato se valora con la disolución de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 0,0125 N y hacia el final de la valoración se añade 1 ml de engrudo de almidón al 1%. Se prosigue la valoración hasta el viraje del azul (color del yodo con el engrudo) al verde claro (color de la sal de cromo).
  - Se calcula el factor de la disolución de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , 0,0125 N en la forma indicada por el profesor.(Ver ficha siguiente).
7. *Engrudo de almidón al 1%*
  - Disuelva en caliente 1 g de almidón soluble en 100 ml de agua.

## DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO. PREPARACIÓN DE REACTIVOS (II)

### Cuestiones ductoras

- Razone sobre el mecanismo de la disolución. Para cada una de las preparadas formule la correspondiente ecuación y de acuerdo a sus características, justifique si se trata de un electrolito fuerte o débil
- Infórmese sobre la conveniencia de usar la disolución tampón de fosfato en la determinación de la demanda biológica de oxígeno
- ¿Conoce algún sistema tampón en los seres vivos? Nómbralo e indique su mecanismo de actuación.

## CÓMO DETERMINAR EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE UNA DISOLUCIÓN VALORADA

- Lea el siguiente texto, coméntelo con sus compañeros de grupo y haga un esquema a cerca de la importancia de la preparación de reactivos, de concentración conocida. Represente los pasos a seguir; basándose en el texto y en un ejemplo hipotético ideado por usted y resuélvalo.

### Texto

«... El análisis volumétrico consiste en la determinación de una sustancia, haciéndola reaccionar cuantitativamente con un volumen medido de una dilución de concentración conocida a la que se denomina disolución valorada. Para preparar una disolución valorada se disuelve una cantidad del compuesto puro en agua y se lleva a un volumen exactamente medido.

Los compuestos más utilizados como estándares primarios para la preparación de disoluciones valoradas son:

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| - carbonato sódico .....  | - análisis acidimétrico y alcalimétrico |
| - oxalato sódico .....    |   |
| y dicromato potásico .... | - análisis rédox                        |
| - cloruro sódico .....    | - análisis por precipitación            |
| - carbonato cálcico ..... | - análisis complexométrico.             |

En el comercio se encuentran disoluciones estándares de concentración dada, las cuales conveniente diluidas en matraz aforado, dan valores exactos.

Las disoluciones valoradas se preparan por pesada directa y, cuando esta no es posible, su concentración se determina indirectamente con otra de concentración conocida.

La preparación mediante pesada no requiere, necesariamente, pesar una cantidad prefijada del compuesto, sino que es suficiente pesar con exactitud una cantidad próxima a la establecida. Conocido el peso equivalente del compuesto, se calcula la normalidad de la disolución o, más correctamente, el factor de corrección de la disolución para una normalidad definida.

El factor de corrección se da como relación entre el peso de la sustancia y el producto de su peso equivalente por la normalidad elegida.

## CÁLCULO DE LA NORMALIDAD Y FACTOR DE CORRECCIÓN: EJERCICIO PRÁCTICO

### Procedimiento

- A título orientativo se expone un ejercicio par el cálculo de la normalidad y factor de corrección de una disolución valorada preparada por pesada.

Para preparar una disolución de N/10 de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , se pesan 5,4070 g del producto y se disuelven en un matraz aforado hasta 1 litro. Calcular: a) la normalidad de la disolución, y b) el factor de corrección de la disolución N/10 (*f*).

Si se tiene en cuenta que:

Molécula - gramo de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  = 106,004 g y el Equivalente - gramo = 53,002 g

Los gramos teóricos necesarios de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , para preparar la disolución 0,1 N serán:

$$0,1 \text{ eq} = \text{gramos/equivalente-gramo};$$
$$\text{gramos de Na}_2\text{CO}_3 = 0,1 \times 53,002 = 5,3002$$

- a) La normalidad de la disolución resultante al añadir los 5,4070 g que se han pesado, se puede calcular resolviendo la proporción:

$$5,3002 : 0,1 = 5,4070 : N$$

De la que resulta:

$$N = \frac{5,4070 \cdot 0,1}{5,3002} = 0,10201$$

- b) Para preparar 1 litro de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , N/10 se necesitan:

$$\frac{53,002}{10} = 5,3002 = 5,3002 \text{ g de Na}_2\text{CO}_3$$

Mientras que se han disuelto: 5,4070 g, el factor será:

$$f = 5,4070/5,3002 = 1,0201$$

## DETERMINACIÓN DE LA DBO (II): DESARROLLO EXPERIMENTAL

### Material

- Botella de incubación (tapón esmerilado)
- Termostato regulable a 20°C
- Bomba para insuflar aire

### Procedimiento

- La muestra de agua en la que se va a determinar experimentalmente la  $DBO_5$  necesita diluirse previamente con agua puesto que el requerimiento de oxígeno preciso para la oxidación bacteriana de la materia orgánica supera, en la mayoría de los casos, la concentración de oxígeno presente en la muestra, aunque ésta esté saturada de aire.
- La muestra, exenta de sustancias interferentes y llevada a un pH 6,5-8,5, se diluye con disolución patrón de modo que tras la incubación presente un consumo de oxígeno alrededor de un 40-70% del inicialmente presente.
- A título orientativo se recuerda que por  $DBO_5$  :
  - Hasta unos 5 mg/l la dilución no es necesaria,
  - Entre 25 y 50 mg/l la muestra se diluye en la relación 1:99.
  - De 2.500 y 5.000 la relación de dilución es 1:999.
- Airee la muestra hasta saturación durante unos 20 minutos a 20°C.
- Trasvase, mediante sifonación, la muestra a dos botellas de incubación. Una vez llenas, ciérrelas herméticamente con tapón esmerilado de modo que no quede aire entre el líquido y el tapón.
- Llene de igual forma dos botellas con agua patrón aireada.
- Una vez que hayan transcurrido 15 minutos, determine el oxígeno disuelto en una de las botellas que contiene la muestra y en una de las que contiene el patrón.
- Las otras dos botellas (una con muestra y otra con agua patrón) consérvelas en termostato a 20° C y realice la determinación de oxígeno al cabo de 5 días.

## DETERMINACIÓN DE LA DBO (III): CÁLCULO DEL O<sub>2</sub> DISUELTUO

Productos	Material
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sulfato manganoso</li> <li>* Disolución alcalina yoduro-azida sódica</li> <li>* Ácido sulfúrico</li> <li>* Tiosulfato sódico</li> <li>* Fluoruro potásico</li> <li>* Engrudo de almidón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*</li> <li>*</li> <li>*</li> <li>*</li> </ul>
<p><b>Procedimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La determinación del oxígeno disuelto se realiza por medio del método yodométrico de <i>Winkler</i> de la forma siguiente:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adicione a la muestra a analizar 2 ml de la disolución de <i>sulfato manganoso</i> y 2 ml de la disolución alcalina de <i>yoduro-azida sódica</i>.</li> <li>• Cierre la botella y agite volteándola varias veces y repita la operación cuando el precipitado se deposite de nuevo.</li> <li>• Cuando el precipitado se deposite otra vez, añada 20 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, haciéndolo descender a lo largo del cuello de la botella.</li> <li>• Si la muestra contiene hierro férrico añada antes 1 ml de disolución de fluoruro de potásico.</li> <li>• Tape de nuevo la botella, agite varias veces y decante.</li> <li>• Sobre 100 ml de la disolución decantada, valore el yodo con tiosulfato sódico 0,0125 N; usando como indicador engrudo de almidón.</li> <li>• El oxígeno disuelto se obtiene a partir de:                 <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>V_o =</math> mililitros de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,0125 N, en el caso de la determinación al cabo de 15 minutos.</li> <li>- <math>V_o^{st} =</math> mililitros de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,0125 N, en el caso de la determinación del correspondiente al patrón.</li> <li>- Siendo respectivamente <math>V_5</math> y <math>V_{5st}</math> los mililitros de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,0125 N correspondientes al cabo de 5 días.</li> <li>- 1 ml de disolución equivale a 0,1 mg de oxígeno.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• <b>CÁLCULOS</b></li> <li>- Si se indica como <math>r</math> la relación volumen total-volumen de muestra y como <math>f</math> el factor de corrección para el volumen de reactivos introducidos en la botella (=330/296) se tiene:             <math display="block">BDO_5(mg/l) = f[r(V_o^{st} - V_o) - (r - 1)(V_{5st} - V_5)]</math> <p>En el caso de que el agua patrón de dilución se haya preparado, según las indicaciones anteriores, <math>V_o^{st}</math> y <math>V_{5st}</math> deben ser iguales, por lo que la fórmula queda simplificada en la forma:</p> <math display="block">BDO_5(mg/l) = f(V_o - V_5)r</math> </li> </ul>	
<p><b>Cuestiones ductoras</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Haga un listado del material que necesita</li> <li>- Exprese la fundamentación teórica del método yodométrico. Justifique igualmente los cálculos numéricos propuestos.</li> <li>- ¿Por qué es necesario añadir fluoruro potásico si la muestra contienen hierro férrico? Escriba las reacciones que tienen lugar.</li> <li>- Compare la obtención que ha realizado con la que se lleva a cabo en la planta depuradora que va a visitar. Incluya material utilizado, reactivos, procedimiento seguido, valores que se suelen obtener.</li> </ul>	

## DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

### Material

- \* Filtro de lana de vidrio.
- \* Sulfato de mercurio ( $\text{HgSO}_4$ ).
- \* Dicromato potásico ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).
- \* Refrigerante a reflujo (30 cm de longitud).
- \* Matraz de 500 ml.
- \* Mortero.

- Comente con sus compañeros las diferencias fundamentales que existen entre la  $\text{DBO}_5$  y la DQO. Detalle en forma de tabla las características de la  $\text{DBO}_5$  frente a la DQO; indicando, además las ventajas e inconvenientes de una y otra.
- Infórmese del procedimiento a seguir para la determinación de la DQO en el laboratorio. Realice un diseño experimental. Complete el material que necesite.

## DETERMINACIÓN DE NITRATOS

### Material

- \* Cristales de fenol.
- \* Ácido sulfúrico concentrado.
- \* Mechero.
- \* Tubo de ensayo.
- \* Pinzas de madera.
- \* Pipeta.

### Procedimiento

- Tome unos cristales de fenol. Añada sobre ellos un poco de ácido sulfúrico concentrado. Caliente.
- Tome un poco del agua a analizar en un tubo de ensayo y vierta sobre ella la disolución anterior aún caliente. Si existen nitratos aparecerá una coloración amarilla.

### Cuestiones ductoras

- ¿Qué reacción ocurre al calentar el fenol con el ácido sulfúrico? Escríbala.
- ¿A qué se debe la coloración amarilla?
- Infórmese sobre los diferentes métodos de determinación de nitratos en agua a nivel industrial.
- Los nitratos son muy solubles en agua ¿Qué ventajas o inconvenientes plantea el añadir nitratos a los suelos agrícolas?

## INVESTIGACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL AMONIACO EN EL AGUA<sup>7</sup>

<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* 2 probetas (una con tapón esmerilado).</li> <li>* Reactivo de Nessler.</li> <li>* Hidróxido sódico al 20%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Disolución saturada de <math>N_2CO_3</math>.</li> <li>* Disolución de cloruro amónico valoras.</li> <li>* Muestra de agua.</li> </ul>
<p><b>Procedimiento</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Preparación del reactivo de Nessler</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disuelva en un matraz de 100 ml 13 g de <math>HgI_2</math> y 16 g de KI, se enrasa con agua y se mezcla con igual volumen de disolución de NaOH al 24%.</li> </ul> </li> <li>2. <i>Preparación de disolución de cloruro sódico valorada.</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disuelva en agua 0,380 g de <math>NH_4Cl</math> y se diluye a 1 litro. Esta disolución contiene 0,1 mg de nitrógeno amoniacal por ml.</li> </ul> </li> <li>3. <i>Detección del amoniaco</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vierta 100 ml de la muestra de agua en la probeta. Añada 0,5 ml de hidróxido sódico al 20% y 1 ml de disolución saturada de carbonato sódico.</li> <li>- Tape la probeta, agite y deje reposar unos minutos. Observe y anote los cambios que tengan lugar.                     <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el caso de que se haya formado un precipitado, razone sobre los factores que han influido en su formación</li> <li>• Formule la reacción correspondiente.</li> </ul> </li> <li>- Decante el líquido limpio a otra probeta.</li> <li>- Para realizar el ensayo cualitativo del amoniaco adicione 2 ml de reactivo de Nessler y una <b>alícuota del agua límpida</b>. La aparición de una coloración amarilla indica la presencia de amoniaco en el agua.</li> <li>- Es conveniente realizar una prueba en blanco con agua exenta de amoniaco, para eliminar contaminaciones ocasionales por parte de los reactivos.</li> </ul> </li> </ol>	
<p><b>Cuestiones ductoras</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿A qué se debe la aparición de la coloración amarilla cuando se añade el reactivo de Nessler al agua que contiene amoniaco?             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formule la reacción correspondiente.</li> <li>• Justifique razonadamente la aparición del color.</li> </ul> </li> <li>• ¿Qué es la <i>colorimetría</i>? ¿En qué principios químicos y/o físicos se apoya?</li> <li>- Infórmese sobre el procedimiento a seguir para la determinación del amoniaco utilizando esta técnica.</li> <li>- ¿Qué diferencia existe entre el nitrógeno orgánico y el inorgánico?</li> <li>- Las sales amónicas acidifican el suelo. ¿Por qué?</li> </ul>	

<sup>7</sup> La investigación y determinación del amoniaco se realiza con el reactivo *Nessler*, que es una disolución alcalina de yoduro de mercurio y potasio. El reactivo de Nessler tiene la ventaja que reacciona con mínimas cantidades de amoniaco, dando origen a una intensa coloración amarilla debido a la formación de óxido mercurio-amónico.

## DETERMINACIÓN DE NITRITOS EN AGUA

### Material

- \* Reactivo Griess.
- \* Pipeta.
- \* Tubo de ensayo.

### Procedimiento

#### 1. Preparación del reactivo de Griess

- El reactivo de Griess está formado por ácido sulfanílico y á-naftilamina.
- La disolución de ácido sulfanílico se prepara disolviendo 0,6 g de ácido sulfanílico en 70 ml de agua caliente. Después de fría se añaden 20 ml de CIH concentrado y agua hasta unos 100 ml.
- Para la disolución de á-naftilamina se disuelven 0,6 g de clohidrato de á-naftilamina en 100 ml de disolución que contiene 1 ml de CIH concentrado
- Añada unas gotas de reactivo Griess sobre la muestra de agua. Si aparece una tonalidad rosa-rojiza indica la existencia de nitritos.
- Para determinarlo cuantitativamente, se valorá la disolución con permanganato potásico en medio ácido ( acidular con ácido sulfúrico). El punto final será cuando persista la coloración malva-morado.
- Diseñe la experiencia de valoración. Determine tanto el material preciso como el procedimiento a seguir y lleve a cabo los cálculos necesarios
- ¿Puede servir esta determinación para todas las muestras de agua? ¿En qué casos no sería posible?

### Cuestiones ductoras

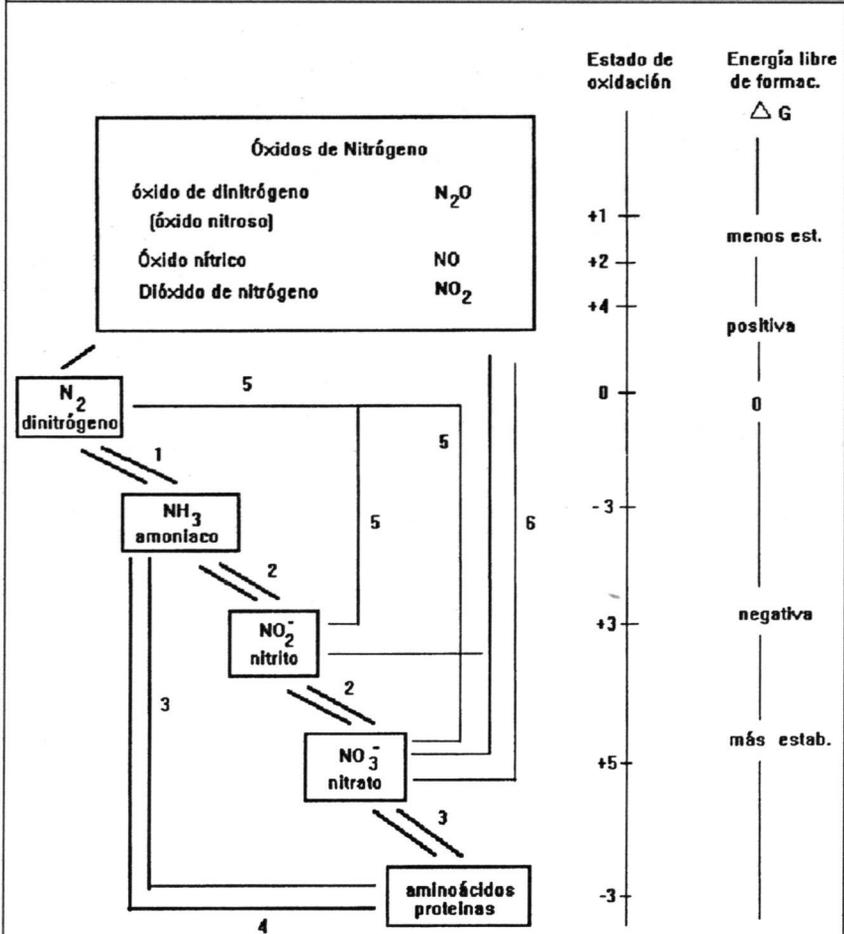
- Estudie las características químicas, los efectos y las fuentes del nitrógeno en forma de nitrito.
- ¿Se pueden determinar cromatográficamente los nitritos? Consulte la bibliografía a su alcance y elabore un informe detallado.

## CICLO DEL NITRÓGENO

A continuación se muestra un diagrama representativo del ciclo del nitrógeno:

- Estudie cada una de las reacciones químicas de conversión de unas especies en otras. Formúlelas y detalle el tipo de reacción, balance energético, condiciones de equilibrio, estabilidad de los productos de reacción, catalizadores, ... etc.
- Comente e intente justificar la estabilidad termodinámica de las distintas especies.
- Indique el papel que juegan algunos microorganismos en muchas de estas reacciones. Analice el proceso de fijación del nitrógeno atmosférico llevado a cabo de forma natural, por determinadas bacterias: destaque el interés y control de este proceso en el equilibrio de la biosfera.
- ¿Cuáles de los productos formados a lo largo del ciclo pueden ser asimilados directamente por la mayoría de las plantas?
- Indique las ventajas e inconvenientes de la elevada solubilidad de los nitratos en agua en cuanto a su utilización por los vegetales. ¿Qué papel desempeñan los nitratos en la contaminación del agua?
- Estudie la solubilidad de los nitratos en agua, obtenga conclusiones.
- Investigue el papel de los humanos en el ciclo del nitrógeno. ¿Conoce algún proceso industrial capaz de fijar el nitrógeno atmosférico? Descríbalo y razone sobre su importancia: ventajas e inconvenientes para la biosfera.
- Investigue el carácter de contaminantes primarios de los óxidos de nitrógeno en la atmósfera y su influencia en la producción de lluvia ácida.
- Papel de los óxidos de nitrógeno en el ciclo del ozono en la troposfera.
- Infórmese de la procedencia de los nitratos en las aguas potables y residuales.

## ESQUEMA DEL CICLO DEL N



### REACCIONES

1 fijación

2 nitrificación

3 asimilación por las plantas

4 amonificación

5 desnitrificación

6 precipitaciones conteniendo nitrato (como ác. nítrico en lluvia ácida)

## TEXTO I <sup>8</sup>

«El smog y la lluvia ácida se han convertido en la mente popular en sinónimos de polución de la atmósfera. Estos términos simples y muy difundidos, utilizados para describir una multitud de procesos químicos complejos, ha ayudado a enfocar la atención en los posibles efectos de la contaminación atmosférica sobre el ambiente.

Varias emisiones procedentes del uso de combustibles fósiles han sido identificadas como posibles factores que contribuyen a causar daños ambientales o problemas sanitarios. Las más notables son el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles, el monóxido de carbono y el dióxido de carbono. Tanto las emisiones naturales como las artificiales contribuyen a la polución atmosférica; la magnitud relativa de cada una depende principalmente de la labor industrial.

En Europa Occidental, zona de industrialización relativamente alta, un 80 % de las emisiones de dióxido de azufre se atribuyen a la actividad humana. Alrededor de la mitad de ellas proceden de la combustión estacionaria de carbón principalmente en centrales eléctricas; el 40% más o menos, de la combustión de petróleo y un 8 %, de las refinerías de petróleo.

Aproximadamente la mitad de las emisiones artificiales de óxido de nitrógeno de Europa Occidental proviene de los vehículos. El resto se origina en las centrales eléctricas y otras fuentes industriales, las refinerías sólo producen menos del 2 %. Los compuestos orgánicos volátiles son principalmente hidrocarburos y las dos expresiones a menudo se usan como sinónimas. Si se excluyen el metano y los hidrocarburos naturales, las emisiones de compuestos orgánicos volátiles derivan principalmente de la evaporación de los disolventes y de los vehículos. El dióxido de carbono procede de todas las formas de combustión de combustibles fósiles y el monóxido de carbono, de los vehículos.

Cuando las emisiones son llevadas a grandes distancias los movimientos de aire y las complejas transformaciones que tiene lugar en la atmósfera hacen difícil establecer las relaciones de causa y efecto entre determinados contaminantes y perjuicios ambientales.

La altura a la cual se echa a la atmósfera el material puede tener influencia en la distancia que atravesará antes de depositarse principalmente porque la velocidad del viento aumenta con la altura relativa al suelo. Las emisiones que quedan en la capa límite de la atmósfera (de 1 a 2 kilómetros sobre el nivel del suelo) se dispersan rápidamente, pero las que pasan más allá de ella se desplazan a mayor distancia. Los cuadros del transporte varían del día a la noche y las emisiones nocturnas tienden a llegar más lejos.

También tienen importancia los vientos. Los períodos anticiclónicos de sol y vientos tranquilos son especialmente adecuados para que se acumulen y transformen las emisiones.

Las complejas reacciones de transformación química que se producen en la atmósfera son de dos tipos:

**Conversión ácida:** Los contaminantes que proceden principalmente del dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno pueden ser llevados a grandes distancias en la atmósfera y convertirse en ácidos por una compleja serie de procesos químicos que no se entienden todavía plenamente. Pueden llegar al suelo con la lluvia, la nieve o la neblina, también pueden ser activos en forma seca, como gases o partículas de aerosol.

**Formación de oxidante fotoquímicos:** En presencia de la luz solar, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos sufren reacciones fotoquímicas y generan ozono, poderoso oxidante, y otros productos. Las altas concentraciones de ozono se presentan con mayor probabilidad en verano.»

<sup>8</sup> *La contaminación ambiental: perspectiva desde la industria petrolífera.* Shell Briefing-Service.

## TEXTO II <sup>9</sup>

Hoy día ya es evidente que el smog no es sólo molesto sino también perjudicial para la salud. Los Ángeles constituye un ejemplo destacado de ciudad que ha analizado las fuentes de donde procede su smog y ha tomado medidas para controlarlas.

La decisión de la ciudad de solucionar el problema del smog data de un informe hecho en 1947 por Raymond R. Tucker quién, como investigador de los problemas de contaminación del aire, desempeñó un papel fundamental en la lucha contra el smog de St Louis. Su informe sobre Los Ángeles enumeraban las fuentes de contaminación atribuibles a la industria y a los individuos por el uso de los automóviles y la incineración de las basuras.

El distrito empezó limitando el polvo y los gases emitidos por las fábricas de acero, las refineries y cientos de pequeñas industrias. Acabó con innumerables incineradores caseros y prohibió la práctica, muy extendida, de quemar en vertederos públicos. Estas medidas redujeron el polvo, que en algunas zonas había sido casi cien toneladas por kilómetro cuadrado y mes, en dos tercios llevándolo de nuevo a aproximadamente el nivel que existía en 1940, antes de que el smog constituyese un problema serio para la comunidad.

Aunque el ataque contra el polvo produjo una mejora considerable en la visibilidad los síntomas propios del smog de irritación de los ojos y daño a los vegetales persistían. Por consiguiente el distrito emprendió un programa de investigación para cerciorarse del origen y de la naturaleza de las sustancias que causaban los síntomas. Un hallazgo importante fue que la atmósfera de Los Ángeles difiere radicalmente de la mayoría de las comunidades de fuerte contaminación. Por lo general, el aire contaminado era fuertemente reductor debido al dióxido de azufre, un producto de la combustión del carbón y los aceites pesados. El aire de Los Ángeles, al contrario, es a menudo fuertemente oxidante. El oxidante es un su mayoría el ozono, con pequeñas contribuciones de óxidos de nitrógeno y peróxidos orgánicos.

Durante la incidencia del smog, el contenido del aire de Los Ángeles alcanza un nivel de 10 a 20 veces más alto que el de otros lugares. Repetidas veces se han medido durante smogs intensos concentraciones de media parte de ozono por millón de aire. Para establecer directamente tal concentración se requería la dispersión aproximadamente de 1.000 toneladas de ozono en la cuenca de Los Ángeles. Ninguna industria libera cantidades significativas de ozono; las emisiones procedentes de las plantas eléctricas son también despreciables, ascendiendo a menos de una tonelada por día. Se forma una cantidad considerable de ozono en la alta atmósfera por la acción de los rayos ultravioletas cortos, pero ese ozono no desciende a la tierra durante las condiciones del smog, a causa de la misma inversión de temperatura que hace que este último sea más intenso. En esta inversión el aire caliente está encima del frío cerca del suelo; este sistema estable forma una barrera no sólo para el ascenso de los contaminantes, sino también para el descenso del ozono.

La exclusión de estas posibilidades deja a la luz solar como la única sospechosa en la creación del ozono de Los Ángeles. La causa no puede ser la formación directa del ozono por la luz solar en la superficie terrestre, porque esto requiere una radiación de longitudes de onda menores de 2.000 unidades angstrom, las cuales penetran en la atmósfera al nivel del suelo. Había una razón convincente, sin embargo, para buscar una conexión indirecta entre el smog y la acción de la luz solar: los valores altamente oxidantes, o de ozono, se encuentran solamente durante las horas del mediodía. Aparentemente se estaba produciendo una reacción fotoquímica cuando uno o más ingredientes del smog estaba expuesto a la luz del sol, la cual es, por supuesto, abundante en la zona de Los Ángeles.

<sup>9</sup> HAAGEN, A. J. (1984): «El control de la contaminación del aire». *Química y Ecosfera*. Seleccion de Scientific American. Blume. Madrid.

### Clave de lectura

- ¿Qué se entiende por medio ambiente?
- Realice un mapa conceptual de los textos para relacionar y jerarquizar los diversos conceptos.
- ¿Qué sustancias químicas intervienen en la formación del smog?
- ¿Qué condiciones son necesarias para que se produzca éste?
- ¿Qué se entiende por «lluvia ácida»?
- Enumere las posibles causas de lluvia ácida.
- ¿Qué papel desempeñan los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre en la formación de la lluvia ácida?
- ¿Qué son los oxidantes fotoquímicos? ¿Cómo actúan?
- ¿Qué es una inversión de temperatura? Señale sus efectos positivos o negativos.
- Cite las principales fuentes de emisión artificial de contaminantes que puede provocar la lluvia ácida.
- ¿Qué reacciones químicas se producen en la atmósfera a causa de la contaminación?

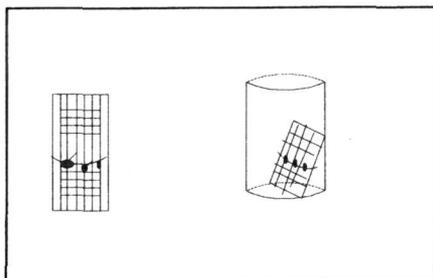
## EFFECTO DE LOS ÓXIDOS DE AZUFRE SOBRE LAS PLANTAS JÓVENES <sup>10</sup>

### Material

- \* Tarro ancho de cristal con tapadera.
- \* Tira de vidrio plano o portaobjetos.
- \* Trozo de papel de filtro empapado en agua.
- \* 5 guisantes germinados.
- \* Papel milimetrado.
- \* Aros de goma.
- \* Ácido sulfúrico concentrado.

### Procedimiento

- Ponga a germinar un puñado de guisantes varios días antes de realizar la experiencia en clase.
- Corte un trozo de papel milimetrado y otro de papel de filtro humedecido con agua del tamaño de un portaobjetos o trozo de vidrio rectangular que quepa dentro del jarro con tapadera.
- Con ayuda de un aro de goma coloque dos o tres guisantes germinados sobre el vidrio preparado anteriormente e introdúzcalo en el jarro (ver figura adjunta).
- Meta dentro del jarro varias burbujas de dióxido de azufre. Tome nota del número de ellas. En la jarra de cada grupo de alumnos se variará la cantidad de burbujas...5, 10, 15, ...
- Diariamente, tome la medida de la longitud de la planta sirviéndose del papel milimetrado y anote los resultados en los cuadros diseñados al efecto (ver ficha siguiente).
- Deberá lógicamente dejar un «jarro control».
- Al comparar los resultados de los diversos grupos se realizará un debate para sacar las conclusiones que se estimen oportunas.



<sup>10</sup> Actividad adaptada de MARCO, B.; MATO, M.<sup>a</sup> C. y REPETTO, E. (1987): *Aproximación didáctica a la química-física del medio ambiente*. IEPS. Madrid.

1. N.º de burbujas de dióxido de azufre introducidas en el jarro en 1 día

Longitud de planta en mm

DIA	Guis, 1	2	3	4	5	Longitud promedio en milímetros
1						
2						
3						
4						

5

Crecimiento medio en longitud de las plantas

2. Resultado de todos los grupos

Grupo	Nº burbujas introducidas en 1 día	Promedio del aumento de longitud
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

## CENTRALES ELÉCTRICAS

- ¿Cuántos tipos de centrales eléctricas conoce? Enumérelas.
- Haga un informe detallado sobre la producción de electricidad en una central termoeléctrica. ¿Cuántas transformaciones de energía tienen lugar?
- ¿Qué diferencia/s encuentra con una central hidroeléctrica?
- ¿De qué tipo es la central situada en Jinámar?
- ¿Cuánto puede contaminar una central que funciona con fuel? Piense primero en el proceso de producción de la energía eléctrica.
- Lea detenidamente el texto «**El sueño de una energía limpia**» publicado por Cayetano López en *El País*, 6 abril de 1995, pág. 30 y conteste a las siguientes cuestiones:
  - Haga un resumen del texto resaltando las principales ideas
  - Nombre todos los tipos de energía que cita el autor.
  - ¿Qué son las energías renovables? ¿Se utilizan en Canarias? Haz un informe sobre ello.
  - ¿Existe alguna relación entre bienestar y energía?
  - ¿Produce contaminación la utilización de combustibles fósiles para la obtención de energía? Documentese debidamente para la participación que se llevará a cabo en el aula
  - ¿Qué es la energía nuclear? Haga un informe sobre la controversia suscitada por su utilización. Valore las ventajas e inconvenientes
  - ¿Por qué dice el autor que no se produce energía sino que solo tiene lugar una transformación de energía? ¿Existe algún principio físico que apoye esta afirmación? Escriba sobre ello.

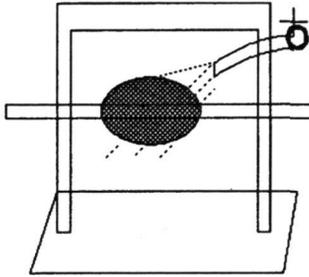
## MOLINILLO DE AGUA

### Material

- \* Una tabla rectangular.
- \* Dos palillos cilíndricos largos.
- \* Dos palillos cilíndricos cortos.
- \* Tres listones de madera.
- \* Un taladro de madera.
- \* Tachas o cola de madera.
- \* Una para gruesa.
- \* Instalación de agua con grifo.

### Procedimiento

- Atraviese la papa horizontalmente con los palillos largos (pueden servir de los que traen los zapatos). Haga igual pero verticalmente con los palillos cortos de forma que queden perpendiculares.
- Construya con los listones un marco tal como muestra la figura y colóquelo sobre la tabla. Efectúe unos oficios sobre los listones laterales.
- Introduzca en ellos los listones horizontales que atraviesan la papa, comprobando que pueda girar libremente.
- Coloque todo este artefacto debajo del chorro de agua y observe lo que ocurre.



### Cuestiones ductoras

- Describa lo que observe
- Busque una explicación lógica.
- ¿Qué principios físicos intervienen?
- ¿Existe algún aparato industrial o doméstico que tenga un fundamento similar?

## EL MAR COMO MEDIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIÓN

### Cuestiones ductoras

- Haga un estudio bibliográfico sobre el llamado **derecho del mar**.
- Infórmese sobre las **rutas comerciales** con objeto de poder intervenir en el debate que se propondrá en el aula.
- ¿Qué es la emigración? ¿Qué repercusión tiene en Canarias? ¿Cuáles son los pueblos que han recibido más emigrantes canarios en otras épocas? ¿Por qué?
- Haga una relación de los puertos más importantes del mundo y destaque a qué deben esa importancia. No olvide el Puerto de La Luz.
- Escriba sobre la relación entre el desarrollo de las ciudades marítimas
- Clasifique los diferentes tipos de embarcaciones existentes. Explícite los criterios de clasificación elegidos.
- ¿Cuál es la fundamentación física de la flotación de los barcos? Estudie detalladamente los principios físicos que permiten que un barco navegue.
- Haga un estudio de la evolución histórica de los medios de transporte marítimos o fluviales.
- Describa qué efectos contaminantes puede producir la navegación comercial o recreativa. ¿Es capaz de proponer soluciones alternativas?

## UTILIZANDO BIEN EL AGUA

- Haga una relación de situaciones que considere que se le da un mal uso al agua.
- Represente mediante un dibujo la que considere más perjudicial bien desde el punto de vista ecológico o humano.
- Haga un esquema donde figuren situaciones en que se despilfarra el agua.
- Proponga normas de actuación concreta para crear actitudes favorables hacia el buen uso del agua.

## CONTENIDO DE AGUA EN LA LECHE

### Material

- \* Vaso con leche.

### Procedimiento

1. Planifique cómo llevar a cabo la destilación de 100 ml de leche de vaca.
2. Dibuje el montaje experimental que debe preparar para hacerla.
3. Haga un listado del material que necesita.
4. Anote la temperatura a la que se desarrolla.

### Cuestiones ductoras

1. ¿Cuál es el producto que se recoge en el destilado?
2. ¿Cómo puede determinar el % de agua existente en la leche?
3. ¿Sin utilizar una destilación podría saber ese valor?

Lea el siguiente artículo y cumplimente la clave de lectura propuesta:

**CONCLUIDO UN ESTUDIO SOBRE LA CAPACIDAD REAL  
DE LOS EMBALSES <sup>11</sup>**

Se conoce ya la capacidad real de la mayoría de los grande embalses de Gran Canaria una vez terminado un importante trabajo, del que en su día dió cuenta este DIARIO, de planimetría de superficies y batimétricos con nuevos y adecuados medios. El estudio ha sido realizado por la empresa de Madrid «INTOPSA», bajo la dirección y supervisión del mismo del Jefe de Estudios e Hidrología del Servicio Hidráulico de Las Palmas, don José Antonio Núñez Lladó. Se han hecho dos trabajos: fotogramétricos, con tomas fotográficas desde avión de la superficie no sumergida, y levantamiento batimétrico de la zona sumergida mediante una embarcación dotada de equipos especiales de eco-sonda, siendo estos los primeros que se realizan en Canarias.

El resultado ha sido unos planos a todo color y unos datos que ajustan la capacidad real de cada embalse estudiado, detectándose cambios en pequeñas presas sobre todo, hasta un 35 %, y el de los 500.000 m<sup>3</sup> de mas en la presa de Chira que ha coincidido con los que le faltan a Soria.

Esta labor se ha realizado por el interés de los aldeanos en conocer la capacidad real de sus embalses, a los que se ha añadido el Cabildo Insular con los suyos y la Heredad propietaria de Tirajana, Emalsa, etc.

A partir de ahora, las horas o metros cúbicos existentes se calcularán sobre las capacidades reales de las presas grancanarias.

---

<sup>11</sup> CARDONA, A. (1996): *Diario de Las Palmas*, 12 de agosto, p. 24.

DATOS ACTUALIZADOS DE LAS PRESAS <sup>12</sup>				
Nombre	Capacidad	Junio 96	Julio 96	Junio 95
Soria	32,3	7,5	7,3	3,4
Chira	5,7	4,9	5,3	3,4
Cueva de las Niñas	5,2	4,6	4,4	0,4
Parralillo	4,6	4,3	4,3	2,0
Siberio	4,5	4,0	3,6	1,7
Tirajana	3,1	2,8	2,4	0,3
Caidero de la Niña	2,0	1,9	1,8	0,4
Ayagaures	2,0	1,7	1,5	0,4
Lugarejos	1,8	1,3	1,3	0,4
Los Pérez	1,5	0,8	0,7	0,2
Chamoricán	1,4	0,9	0,9	0,0
La Gambuesa	1,4	1,4	1,3	1,1
Las Hoyas	1,1	0,6	0,6	0,0
48 grandes presas restantes	12,1	3,8	1,3	1,0
SUMAS	78,7	40,5	36,7	14,7
PORCENTAJES	100%	51%	47%	19%

### Clave de lectura

1. ¿En qué consisten las técnicas batimétricas? Busque su fundamentación científica.
2. Haga un estudio de la capacidad de las presas y la cantidad de agua que contenían en las fechas que aparecen en el cuadro anterior. Comente estos datos.
3. ¿Qué importancia tiene el conocimiento de la capacidad total de las diferentes presas? ¿A quién/ es puede beneficiar?

<sup>12</sup> Ofrecemos los datos facilitados por la Sección de Estudios e Hidrología del Servicio Hidráulico de Las Palmas, manteniendo la comparación con mes y año anteriores aunque variando cantidades en Soria, de 32,8 a 32,3 y Chira, de 5,2 a 5,7 Hm<sup>3</sup>.

Publicado en *Diario de Las Palmas*, 12 de agosto de 1996.

## TRATAMIENTO DE AGUA PARA SUMINISTRO URBANO

### Actividades previas a la visita

1. Señale en el mapa *la zona y localidad* donde se encuentra situado el «centro» a visitar.
  - \* Trace el itinerario a seguir para llegar desde su Centro.
  - \* Indique si está situado en la zona Norte, Sur o Centro de la Isla.
  - \* Señale posibles razones para ese emplazamiento.
2. Busque información sobre los procesos que se llevan a cabo en los centros de tratamiento de agua.
3. Elabore un listado de distintos aspectos que le interesa observar in situ.
4. ¿Qué tipo de contaminantes cree que son los más frecuentes en las aguas residuales urbanas?
  - Consulte en la bibliografía recomendada los procesos seguidos para depurar dichas aguas
  - ¿Qué utilidad tienen las aguas depuradas? ¿Se emplean siempre? ¿En el caso de que no fuera así ¿por qué cree necesaria su depuración?. Explíquelo con detalle y utiliza algún ejemplo que conozca relacionado con su entorno.

### Actividades durante la visita

1. Infórmese sobre el tratamiento que recibe el agua para suministro urbano y complete el cuadro siguiente:

Nombre y tipo de proceso ( físico y químico)	Fundamentación y finalidad	Aparatos que se utilizan (nombre y esquema representativo)

2. Frecuentemente se dice que el agua del grifo tiene muchas sales disueltas. ¿Ocurre lo mismo si el agua procede de la potabilizadora?
3. El agua de suministro urbano procede de la potabilizadora o se mezcla con otras aguas naturales?
3. ¿Cómo es la red de distribución de aguas a partir de la estación de tratamiento?
  - \* Haga un esquema que represente los distintos elementos de que consta.
  - \* ¿Se utiliza algún tipo de aparato para aumentar la presión de agua al salir hacia la red de distribución? Si así fuera, ¿cómo es su funcionamiento?
  - \* Si se quisiera aumentar la presión con que el agua llega a los puntos de consumo ¿cuál sería la forma de proceder?
4. ¿Es necesario determinar la calidad del agua antes de distribuirla a los usuarios?
  - \* ¿Qué tipo de técnicas se emplean?
  - \* ¿Se determina la DBO?

## VISITA A UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

1. Infórmese sobre la razón para el emplazamiento de esta planta de tratamiento.  
     ¿Cuántos años lleva funcionando?  
     Número de empleados y personal especializad
2. Consulte sobre los procesos básicos que se llevan a cabo y complete con ellos cuadros similares a los que se indican. Tome fotografías o vídeos sobre los procesos si lo permiten

### LOS CONTROLES DEL AGUA EN UNA PLANTA DEPURADORA

- Infórmese en la planta depuradora de aguas residuales que va a visitar, sobre la forma de llevar a cabo las determinaciones que se han realizado en el aula laboratorio, en la fase de preparación de la visita, así como otras que se hagan en dicha planta y complete los apartados que se indican, con objeto de analizar las diferencias entre una y otras y establecer correlaciones entre las determinaciones de laboratorio y las industriales. Añada los datos que estime precisos.

<b>DETERMINACIONES</b>	<b>OBSERVACIONES</b> (Aparatos, reactivos, procedimientos, dificultades, valores obtenidos...)
MEDIDAS DE pH	
CONDUCTIVIDAD /SALINIDAD	
NITRATOS	
NITRITOS	
CLORUROS	
DBO <sub>5</sub>	
DQO	
CLORACIÓN	
ELIMINACIÓN: SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	
TURBIDEZ	
COLOR	
SULFATOS	
AMONIO	
DETERGENTES	

### TRATAMIENTO PRIMARIO

Nombre y tipo de proceso (físico-químico)	Finalidad y fundamentación	Aparatos que se utilizan (nombre y esquema representativo)

### TRATAMIENTO SECUNDARIO

Nombre y tipo de proceso (físico-químico)	Finalidad y fundamentación	Aparatos que se utilizan (nombre y esquema representativo)

### TRATAMIENTO TERCIARIO

Nombre y tipo de proceso (físico-químico)	Finalidad y fundamentación	Aparatos que se utilizan (nombre y esquema representativo)

3. ¿Cuál/es contaminante/s se eliminan en cada tratamiento? Completa con la información suministrada el cuadro siguiente

Tipo de tratamiento	Contaminante eliminado	Finalidad del agua
Primario		
Secundario		
Terciario		

## TRATAMIENTO DEL AGUA EN PISCINAS

1. Investigue el tipo de tratamiento que recibe el agua de las piscinas a efectos de salubridad.
  - \* ¿Qué factores se suelen controlar?
  - \* ¿Qué es el pH? ¿Tiene alguna influencia su determinación en el agua de las piscinas?
  - \* ¿Qué tipo de productos y técnicas suelen emplearse en el tratamiento? Detállelos y haga un estudio sobre ellos.
  - \* ¿Con qué frecuencia se hacen los controles de salubridad?
  - \* ¿Cómo se procede para cambiar el agua de una piscina? ¿Se reutiliza ese agua?
  - \* ¿Qué tipo de motores o maquinaria son precisos para el mantenimiento de la piscina. Describa su funcionamiento.
2. ¿Cómo supone que sea la densidad del agua de una piscina en comparación con el agua del mar? ¿Por qué?
  - \* Estudie las condiciones de flotabilidad en la piscina y en el mar
  - \* ¿Cómo es posible que se flote a diferentes profundidades? ¿Cómo lo logran los peces?
  - \* Cuando se lleva mucho tiempo sumergido en el agua se suelen arrugar las palmas de las manos. ¿Por qué?
3. Recoja muestras de agua de piscina y de mar para determinar diversas constantes físico-químicas: densidades, puntos de fusión y ebullición, cantidad de sales disueltas, residuo seco, etc y compare los resultados.
4. Infórmese si existe algún médico en el centro deportivo que está visitando:
  - \* Consúltele sobre los tipos de contagios más frecuente que pueden tener lugar en las piscinas y de cuáles son las medidas preventivas que se toman.
  - \* ¿Qué efectos puede tener sobre la piel la permanencia de largo tiempo sumergidos en la piscina?

#### 4. APLICACIÓN Y REVISIÓN DEL CAMBIO EN LAS IDEAS

Es necesario habituar a los alumnos al uso de las nuevas ideas, a trabajar con ellas y llegar a conseguir que vean su interés y sus límites. El estudiante debe acostumbrarse a utilizar los conocimientos con el éxito suficiente como para no volver a emplear las ideas antiguas y ha de comprobar cómo la aplicación de un concepto en una nueva situación puede ayudarle a comprender fenómenos que antes no entendía. Muchas veces es costoso establecer una diferencia entre esta fase y la de evaluación descrita anteriormente. De hecho, en todo este modelo de enseñanza la división en fases y subfases es más teórica que práctica pues muchas veces se detecta un solapamiento entre ellas.

Sin embargo, lo importante es afianzar las nuevas estructuras cognitivas de los alumnos. Cabe en ella la resolución de problemas y el desarrollo de situaciones experimentales.

La fase de revisión de ideas, no puede obviarse dentro del proceso de construcción significativa de conocimientos ya que pretende básicamente concienciar a los alumnos de los cambios que se han generado en su aprendizaje, lo que servirá lógicamente de estímulo para seguir aprendiendo. El papel del profesor estará en animar a los alumnos poniendo de relieve los avances conseguidos.

Para la comprobación de las nuevas ideas adquiridas pueden utilizarse procedimientos tales como los debates, los informes de los trabajos prácticos realizados y la autoevaluación de los progresos conseguidos por el alumno así como la posibilidad de aplicarlos en otros contextos. No debemos olvidar el protagonismo del alumno en su propio proceso de aprendizaje. Es interesante, en este sentido, el contraste entre las ideas de los alumnos al empezar el estudio del tema y las que presentan en este momento.

## APLICACIÓN Y REVISIÓN DEL CAMBIO EN LAS IDEAS

Realice las siguientes actividades:

- Relacione el proceso de destilación del agua del mar con lo que ocurre en una planta potabilizadora.
- Estudie el proceso de formación de las estalactitas y estalagmitas.
- Lea el texto **«La caliza y el bicarbonato devuelven la vida a los lagos muertos por la «lluvia ácida»**. Elabore la correspondiente clave de lectura.
- Explique el esquema que se presenta sobre el ciclo de los contaminantes atmosféricos.
- Haga una propuesta sobre **«Cómo evitar la contaminación del agua»**.
- ¿Qué es una pila de destilar?
- Estudie el cambio iónico y haga un informe.
- Hable sobre las propiedades coligativas de las disoluciones. Enuncie las leyes que las rigen.
- Realice una investigación sobre la cantidad de agua que consume una familia en una semana. Determine las variables. Sugiera posibilidades de ahorro.
- Complete el cuadro que se le muestra a continuación sobre la lluvia ácida.
- Realice la siguiente investigación **«¿Se modificará la temperatura de ebullición del agua si la hervimos en un recipiente con tapa?»** Utilizar la ficha que se presenta a continuación.
- Debate sobre **«Influencia en los seres vivos de algunas de las propiedades anómalas del agua»**.
- Haga un informe sobre **«Cómo afecta un cambio en la temperatura del agua de un río por efecto de los vertidos industriales a la vida acuática de ese ecosistema»**.
- Repita el cuestionario inicial y compare los resultados.

## LA CALIZA Y EL BICARBONATO DEVUELVEN LA VIDA A LOS LAGOS MUERTOS POR LA «LLUVIA ÁCIDA» NYT: Nueva York<sup>13</sup>

Algunos de los lagos norteamericanos más afectados por la acidificación han vuelto a tener vida biológica tras el tratamiento de sus aguas efectuado por científicos de la universidad de Tras. Los investigadores han vertido toneladas de caliza en los lagos, neutralizando la acidez del agua y permitiendo que puedan volver a tener truchas.

Durante años, los efectos acumulativos de la lluvia y la nieve ácidas han matado la vida en el agua de los lagos de las montañas de Adirondack. A medida que desaparece la vida de sus aguas, éstas muestran una transparencia engañosa. Unos 200 de estos lagos no tienen en la actualidad vida alguna y muchos más llevan el mismo camino.

Los experimentos llevados a cabo en Tras demuestran que una dosis de antiácidos puede hacer que los lagos vuelvan a ser aptos para soportar vida, aunque el efecto tiene corta duración, ya que se vuelven a acidificar debido a la lluvia. La velocidad de reacidificación parece depender de la calidad del agua de sus afluentes.

Otro problema es que la piedra caliza, el agente neutralizador más barato, a veces se deposita sobre el fondo de los lagos y se recubre de sedimento antes de disolverse. Como alternativa, los investigadores probaron a verter 14 toneladas de bicarbonato de sosa, donado por una empresa fabricante, en el Wolf Pond, un pequeño lago de Franklin County, Estado de Nueva York, cuyas aguas tenían un grado de acidez 100 veces superior al normal.

A los pocos días el bicarbonato, al disolverse como si fuera una tableta gigante de Alka-Seltzer, neutralizó la acidez del agua. El bicarbonato es mucho más caro que la caliza, pero los científicos esperan que los fabricantes hagan descuentos, teniendo en cuenta las espectaculares cantidades que se necesitarían para el tratamiento de los lagos si este método resulta efectivo.

Debido al coste y al carácter temporal de los beneficios obtenidos, ningún científico afirma que se trate de la solución ideal a los problemas planteados por la lluvia ácida. A través de sus estudios afirman los científicos, simplemente esperan encontrar vías para minimizar el daño causado mientras se alcanzan soluciones básicas.

### Clave de lectura

- ¿Qué es químicamente la caliza?
- Escriba la reacción que aparece en el texto
- ¿Recuerda qué es «la lluvia ácida»?
- ¿Cómo se expresa la acidez de la lluvia? Escriba el valor aproximado de acidez de una lluvia.
- Haga un resumen del texto y un comentario personal al mismo.

<sup>13</sup> s/a (1985) *El País*, viernes 3 de mayo.

Complete el cuadro siguiente después de debatir con sus compañeros las respuestas

**LA LLUVIA ÁCIDA**

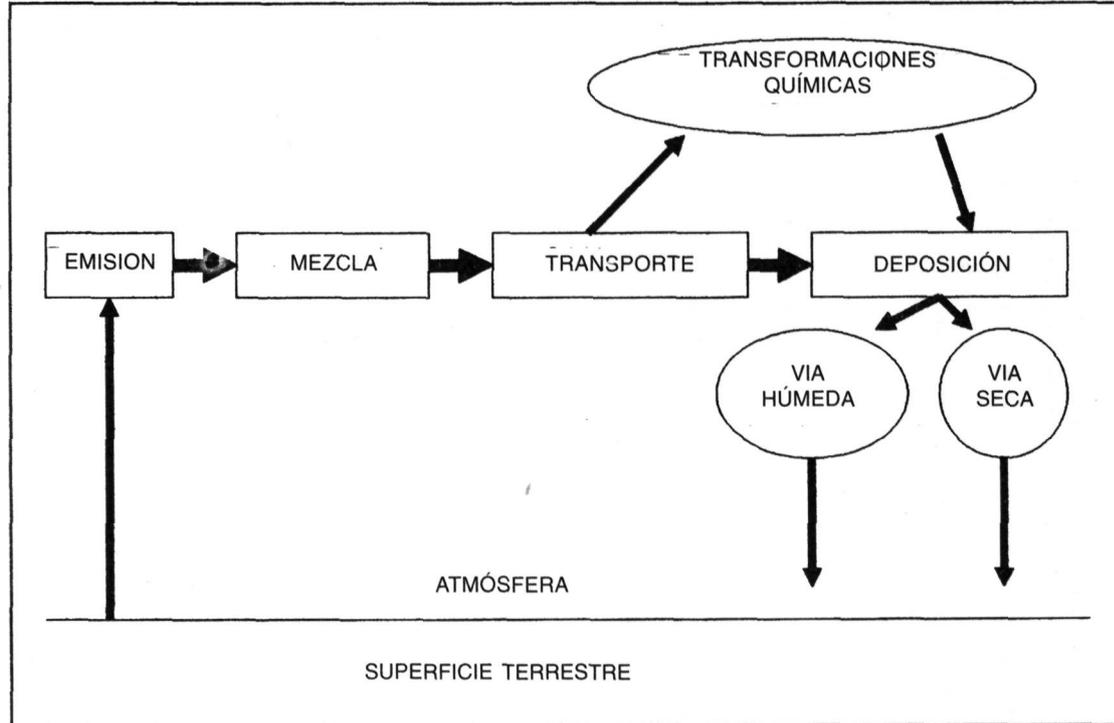
**\* I. ¿QUÉ ES ?**

**\* II. ¿CUÁLES SON LAS CAUSAS?**

**\* III. EFECTOS**

**\* IV. SOLUCIONES POSIBLES**

## CICLO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS



**¿SE MODIFICARÁ LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DEL AGUA SI LA HERVIMOS EN UN RECIPIENTE CON TAPA?**

**Investigación de la influencia de algunos factores en la temperatura de ebullición. Orientaciones para la investigación y autovaloración**

**ORIENTACIÓN**

• **Problema**

**¿Hervirá el agua en un recipiente tapado a temperatura más alta que sin la tapa?**

• **Una posible hipótesis**

• **Planificación de la experiencia**

• **Material necesario**

• **La investigación**

La investigación se lleva a cabo tal como se describe en el proyecto.

• **Los resultados obtenidos fueron:**

- Temperatura
- Con tapa
- Sin tapa

• **Conclusiones:**

Establecer si hay diferencia significativa en las lecturas de la temperatura con la tapa, y sin la tapa. Sugerir si se estima necesario tomar más lecturas.

• **Se generan nuevos problemas ¿Qué ocurre en la olla exprés?**

**AUTOEVALUACIÓN: CRITERIOS:**

• **El problema** es presentado en forma de cuestión. Al final el debes ser capaz de obtener la solución a la cuestión.

• **Hipótesis:** Se puede decir lo que debe suceder y dar una razón científica. Si no se da una razón sería una «predicción» no una «hipótesis». No suficiente en esta investigación.

• **Proyecto:** Uso adecuado de materiales, forma de controlar las variables, medidas de precaución, forma de organización de datos,...

• **Selección de aparatos:** Los aparatos seleccionados son apropiados, se conocen sus normas de uso correcto y permiten tomar medidas con precisión.

• **Realización o procedimiento**

Se suministra información acerca de como tomar las medidas y sobre la necesidad de hacer lecturas precisas. Aspectos concretos de las observaciones. Registro de datos,...

• **Interpretación de resultados y evaluación del proceso.**

La conclusión debe vincular los resultados con la cuestión original. Hay una buena evaluación de la investigación si:

- Se hace alguna sugerencia sobre como perfeccionar o mejorar la investigación.
- Se plantean nuevos problemas generados a partir del resultado de la investigación.

• **Diferencia entre el experimento planteado y otras situaciones similares:**

- Resultados previsibles o que se obtienen en esas situaciones ¿son similares o difieren? Explicación y/o generación de nuevas investigaciones.

**MÓDULO II**  
**ESTUDIO DEL AGUA**

## INTRODUCCIÓN

**El agua** es el compuesto químico más abundante, más conocido y más importante para la vida. Se encuentra distribuida en el globo terráqueo y se presenta en los tres estados: sólido, líquido y gaseoso, dando lugar al hielo, al agua líquida y al vapor de agua.

En la superficie del globo interfieren la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera. La hidrosfera está formada por los mares y océanos y se distribuye en redes hidrográficas o también en mantos sobre los continentes: mares interiores, ríos y lagos. Hemos de destacar que las aguas oceánicas suman una extensión mucho mayor que las masas continentales ya que abarcan el 70,8% de la superficie del globo lo que equivale a 361 millones de Km<sup>2</sup>.

El agua, en la naturaleza se encuentra no sólo en estado líquido sino que también podemos encontrarla en estado de vapor (nubes) y en estado sólido (nieves).

Respecto a su distribución en los hemisferios existe una gran diferencia: el norte es más continental mientras que el sur es el hemisferio oceánico.

## EL AGUA LÍQUIDA

Existen dos teorías sobre el origen de los océanos: La primera supone que la Tierra se formó a elevadas temperaturas. Inicialmente el agua estaba como una capa gaseosa que se condensó en la última fase de enfriamiento y solidificación del planeta. Esto quiere decir que desde el principio de la Tierra existía un océano semejante al actual en volumen. La segunda teoría considera que el océano se constituyó como un cuerpo frío, que se fue calentando gradualmente hasta alcanzar cierto equilibrio. Supone que el agua inicialmente estaba retenida en los minerales hidratados y se fue liberando por el progresivo calentamiento y fusión

parcial, a través de líquidos y gases volcánicos. De esta manera, el océano primitivo fue creciendo continuamente a partir del interior de la Tierra.

Actualmente se puede considerar que el agua de los océanos, aparte del ciclo atmosférico del agua, sufre otro ciclo, que está en relación con la expansión del fondo oceánico y con la tectónica de placas. Los fondos oceánicos recién formados sufren una hidratación a partir del agua del mar, por otra parte, en las zonas en que el fondo oceánico se hunde, es asimilado por el manto. esto origina que parte del agua sea incorporada al mismo que más tarde puede liberarse e incorporarse al océano a través de los fenómenos volcánicos.

La composición química de las aguas marinas y de las continentales varía en función de su concentración en sales disueltas. No obstante, la densidad, la salinidad y la temperatura difieren según los lugares; además la temperatura, varía también según las estaciones. Las aguas marinas están animadas de continuos movimientos que hacen que su composición sea diferente y podemos distinguir en ellas masas de agua separadas por planos de discontinuidad (líneas de convergencia y divergencia). El mar es la principal fuente de energía calorífica en la superficie del globo y la fuente más importante de vapor de agua. Desempeña un papel trascendental en la geografía de la temperatura y de las lluvias y por tanto, en la diferenciación climática terrestre. De hecho, los océanos y los mares son una reserva inagotable de recursos: animales, minerales y productos químicos. Además, los océanos facilitan las relaciones entre los hombres.

Las sales contenidas en el mar son sales minerales procedentes de las rocas continentales. La evaporación origina una creciente concentración de sales. El análisis químico da una cantidad media de 35 g/l. De hecho, contienen aproximadamente 3.5 % en peso de sales disueltas. Estas sales, cuando se disuelven con dióxido de carbono, establecen un sistema buffer que conserva el pH del agua de mar en niveles cercanos a 8. Las sales más abundantes son: cloruro sódico (78% del total), cloruro magnésico (11%) y sulfatos magnésico, cálcico y potásico. Sin embargo, hay que destacar que la salinidad no es uniforme; se destacan dos zonas máximas coincidiendo con las latitudes tropicales, por el contrario en el Ecuador y las latitudes medias y polares su contenido salino es menor. Esto depende de la relación existente entre las precipitaciones y la evaporación.

La temperatura de las aguas marinas depende de la energía que reciben del Sol. En superficie se calientan durante el día por efecto de la

absorción de las radiaciones solares y se enfrían bien por la noche o por el paso de una masa de aire frío sobre su superficie. Hemos de tener en cuenta que estas variaciones solo afectan a una capa de espesor de unos pocos metros, por debajo la temperatura suele ser uniforme entre unos  $0^{\circ}$  C y  $+2^{\circ}$  C. Como excepción podemos citar al mar Mediterráneo que debido a su comunicación con el Océano Atlántico por el estrecho de Gibraltar, sus aguas profundas están a una temperatura alrededor de los  $13^{\circ}$  C.

Es muy interesante considerar, desde el punto de vista geográfico, el diferente calentamiento que experimenta el mar y la tierra, de hecho, el mar es un regulador térmico de las regiones costeras sobre todo de las latitudes medias. Durante el verano, el agua se calienta más despacio que los continentes, por ello, el mar y los sectores costeros están relativamente frescos. En invierno, las aguas marinas se enfrían poco y atemperan los bordes continentales. En consecuencia, del calentamiento y enfriamiento de las aguas marinas se derivan intercambios térmicos entre los medios atmosféricos y oceánicos. Es éste uno de los ejemplos más expresivos como afirma Cholley, de la íntima solidaridad que une a los elementos que forman el globo terrestre.

El movimiento de las aguas marinas se produce por acción del viento regular y muy fuerte, que al frotar las moléculas de agua, les imprime un movimiento casi circular. Este movimiento queda retrasado en cada molécula con relación a sus vecinas; de ahí que en la superficie del mar se formen ondulaciones paralelas mas o menos perpendiculares a su dirección que es lo que conocemos como «olas». Este movimiento se propaga, incluso a grandes distancias, en forma de ondas. En ellas, las moléculas de agua son levantadas y descienden, sin apartarse mucho de la vertical; sin embargo, cerca de la costa al disminuir la profundidad el movimiento circular de las moléculas se hace menor y la ola se rompe. En estas olas rompientes se produce una verdadera traslación de moléculas.

Las mareas son movimientos del agua del mar que se producen dos veces todos los días en las costas europeas, pero una sola vez en determinadas costas, por ejemplo del sureste de Asia. En marea alta (pleamar), el nivel del mar se eleva y la playa queda recubierta parcialmente por las aguas; por el contrario, en marea baja (bajamar), el mar parece retirarse. La diferencia de nivel entre ambas es la amplitud de la marea.

Las causas del origen de las mareas son mal conocidas. Las teorías tradicionales (Newton, Laplace, Poincaré) se basan en la coincidencia

entre determinadas características de los mares y los movimientos de la Luna y el Sol. La subida periódica del nivel marino se debería a la atracción de la Luna sobre la hidrosfera. La atracción del Sol se suma (si la Tierra, el Sol y la Luna están en la misma recta) el fenómeno se amplifica: marea viva; o se resta a la de la Luna (marea muerta). Esta explicación no basta para explicar mareas más complejas

Por otra parte, podemos considerar que las corrientes marinas son desplazamientos del agua del mar en una dirección dada. Se oponen a las olas y a las mareas que son movimientos ondulatorios, sin embargo la distinción no es absoluta ya que algunas mareas pueden originar corrientes como ocurre por ejemplo sensiblemente en los estuarios. Son como auténticos ríos dentro del mar que arrastran gran cantidad de agua.

Las corrientes de mayor caudal son las corrientes generales del océano. Aunque su velocidad sea muy inferior a 1 m/s, arrastran considerable cantidad de agua debido a su gran sección. Estas corrientes que tienen una influencia enorme en el clima de la Tierra. Pueden tener dos causas como son el viento y la diferente densidad del agua del mar. Por efecto de la fuerza de Coriolis, una corriente debida al viento es desviada, en alta mar, en superficie 45° hacia la derecha, en el hemisferio norte, o hacia la izquierda en el sur. En profundidad la desviación se acrecienta pero la velocidad disminuye rápidamente.

Su origen se encuentra en los vientos o en las diferencias de temperatura, salinidad y densidad en general. Unas son cálidas como la de «El Golfo» o la de Kuro Shivo, y otras frías como pueden ser la del Labrador y la de Oyo Shivo.

Estas corrientes actúan sobre los climas de las zonas costeras por donde discurren, templándolos o enfriándolos. Esto trae consigo que ejerzan una influencia importante sobre las temperaturas de los continentes. A igual latitud, existen diferencias térmicas entre las fachadas oceánicas bañadas por corrientes marinas frías y las situadas junto a corrientes marinas cálidas.

En este sentido, podemos citar cómo las Islas Canarias se ven afectadas por la corriente marina llamada corriente fría de Canarias, debido a la temperatura relativamente baja de sus aguas.

Todos estos factores tienen como consecuencia la distribución de temperaturas en el mundo. La tierra tiene tres grandes tipos de zonas climáticas: **La zona cálida**, situada entre el trópico de Cáncer y el trópico de Capricornio. **Las zonas templadas**, situadas en ambos hemisferios, en-

tre los trópicos y los círculos polares. **Las Zonas frías**, situadas en ambos hemisferios, en el interior de los círculos polares.

Las corrientes marinas también tienen importantes consecuencias de orden biológico y económico: las áreas de convergencia y divergencia son especialmente ricas en plancton; es en ellas, por tanto, donde la pesca resulta más rentable.

## EL AGUA SÓLIDA

La precipitación de hielo cristalizado (agua sólida) que proviene de la congelación de vapor de agua atmosférico, en su mayor parte en formas hexagonales y estrelladas y fuertemente mezcladas con simples cristales o en copos.

El vapor de agua se encuentra en las nubes a temperaturas muy inferiores a las del punto de condensación. Asimismo, el agua existe en estado líquido a temperaturas muy inferiores a los 0°C y son más frecuentes las nubes de vapor de agua y de agua líquida, que las de hielo. El agua líquida puede darse hasta los - 41 °C. Este estado de «sobrefusión» cesa cuando el aire nuboso contiene «núcleos de congelación».

Según aparece en la literatura científica, no hay un paso directo del estado gaseoso al sólido sino que éste se produce a partir del estado líquido. Como condiciones para que se produzca la nieve podemos citar: Temperaturas bajas en la parte alta de las nubes y núcleos suficientemente numerosos para que la sobrefusión no persista y temperaturas a nivel del suelo inferiores a los 0°C para que la nieve no se transforme en lluvia.

Igualmente, cuando existen violentos movimientos verticales que hacen que las gotas sobrefundidas se solidifiquen bruscamente y retengan aprisionadas, burbujas de aire, se produce el granizo.

La nieve influye sobre los climas. Por su albedo elevado y su intenso poder emisoro determina temperaturas muy bajas. Sin embargo la cubierta de nieve protege el suelo y los cultivos debido a su baja conductibilidad.

Por último, es interesante reflexionar sobre el hecho de que cuando una disolución empieza a congelarse, solo solidifica el disolvente y el soluto permanece en la disolución, esto conlleva que la concentración de la disolución aumente y su punto de fusión, se haga aún menor y continúa variando hasta que todo el disolvente se ha solidificado. En esto se

fundamenta un plan para arrastrar los icebergs desde las zonas polares para suministrar agua pura, porque el hielo está en gran parte libre de sal cuando se forma <sup>1</sup>.

## NUBES

Una nube es una acumulación visible de pequeñas partículas de agua o hielo, originada por la condensación de vapor de agua en la atmósfera que, mantenida en suspensión por corrientes de aire ascendentes forman una masa de color variable según reciban la luz solar.

La formación de una nube puede considerarse que se debe a que el vapor de agua existente en la atmósfera, se condensa formando gotitas de agua. Estas caen hacia abajo encontrándose con capas de aire más caliente que las vuelven a evaporar, ascendiendo de nuevo con ellas hasta las capas más altas donde empieza de nuevo el proceso. Por tanto, una nube, aunque parezca un cuerpo suspendido en el aire, se reduce a un proceso continuo de formación y evaporación de numerosas gotitas de agua.

Para que se formen las gotas de agua que constituyen la nube es preciso que partículas microscópicas de polvo sirvan de núcleo de condensación. Estas partículas microscópicas son extraordinariamente abundantes en la atmósfera.

En este punto creemos importante recordar el fenómeno de **la niebla**. Es una nube estratificada que está constituida por gotitas de agua líquida, que reposa sobre la superficie terrestre sobre todo en tiempo de calma.

Por definición hay niebla cuando la visibilidad es inferior a un kilómetro. Cuando es superior a esta distancia, se denomina «neblina» o «bruma».

Los procesos de formación dependen de los mecanismos de la condensación del vapor de agua:

- La niebla de evaporación, se produce sobre los ríos y lagos durante el invierno, cuando el aire frío circula sobre una superficie cálida y húmeda.
- La niebla de radiación, se produce cuando existen situaciones anticiclónicas y se origina un enfriamiento durante la noche.

---

<sup>1</sup> ATKINS, P. W. (1992): *Química General*. Omega. Barcelona, p. 419.

- La niebla de advección, llamada también de **enfriamiento** resulta del paso del aire húmedo sobre una superficie fría, por ejemplo, al circular el aire tibio marítimo sobre el continente durante el invierno.

Para que se forme niebla tienen que existir núcleos de condensación. Es frecuente en invierno en las regiones húmedas (mares, lagos, bosques,...). En las ciudades no se producen nieblas frecuentemente, pues aunque existen núcleos de condensación, en el invierno suelen ser focos de calor.

Finalmente, estudiaremos los diferentes tipos de nubes. Según un convenio internacional se distinguen tres clases de nubes, teniendo en cuenta su altura sobre el nivel del mar.

## NUBES ALTAS

Entre éstas se encuentran:

**Cirros:** Son nubes blancas de estructura sedosa o fibrosa formadas por cristales de hielo. No producen lluvia pero cuando invaden gran parte del cielo pueden indicar que se acerca el mal tiempo.

**Cirroestratos:** (de 6.000 a 12.000 metros de altura). Están formadas por capas uniformes de pequeños cristales de hielo. Se reconocen porque no ocultan la silueta del sol ni de la luna y producen a su alrededor un halo. Suelen indicar la llegada del mal tiempo.

**Cirrocúmulos:** (de 6.000 a 12.000 metros de altura). Forman grandes capas que presentan formas redondeadas como si fueran copos. Suelen observarse antes de las tormentas.

## NUBES MEDIAS

**Alto cúmulos:** Son nubes rizadas y grisáceas. Se presentan entre los 2.500 y 6.000 metros de altura. Están formadas por pequeñas gotas de agua, son señal de lluvia si sus masas se elevan por encima de las nubes vecinas.

**Altoestratos:** Se encuentran entre los 2.500 y 6.000 metros de altitud. Son capas gruesas y se percibe vagamente la luz del sol a través de ellas. En gran cantidad indican lluvia o nieve.

## NUBES BAJAS

**Estratos:** A menos de 2.500 metros de altura. Son capas tenues de extensión horizontal. Pueden producir llovizna.

**Estratocúmulos:** Rara vez producen lluvia. Son nubes onduladas en forma de rollos alargados de color gris.

**Nimboestratos:** Son parecidos a los estratos pero más densos. Están a menos de 2.500 metros de altura. Son las nubes típicas de lluvia o nieve.

**Cúmulos:** Nubes espesas de base horizontal pero que se desarrollan verticalmente en forma de grandes protuberancias parecidas a una coliflor.

**Cúmulonimbo:** Son nubes de gran desarrollo vertical con aspecto de grandes montañas. Su parte superior es fibrosa, la inferior presenta un color negro. Son las nubes propias de las tormentas y aguaceros. Se les denomina también «nubes de desarrollo vertical».

## LA LLUVIA

Es la precipitación del agua, en forma de gotas de un diámetro superior a 0,5 mm. Se produce cuando la temperatura baja suficientemente y hace que se condense el vapor de agua de las nubes en forma de gotitas de agua. Éstas crecen por agregación y por nueva condensación en su superficie hasta que su peso es superior al empuje del aire ascendente y caen en forma de lluvia.

El mecanismo de la «precipitación atmosférica» es pues complejo: las nubes están constituidas por gotitas de agua y pequeños cristales de hielo, éstas existen debido a unas corrientes ascensionales de aire. Las gotitas de agua y los pequeños cristales descienden debido a su peso, los de mayor tamaño, al pesar más bajarán más ligeros y alcanzarán a otros e incluso chocarán con ellos. Por otro lado, debido a las corrientes ascensionales de aire mantienen a los cristales y gotitas de agua flotando en la nube sin permitirle que caigan al suelo. Se produce pues un ciclo que se repite hasta que el tamaño alcanzado sea lo suficientemente grande para que no puedan ser sostenidas por las corrientes ascendentes y caen en forma de lluvia.

La lluvia es un factor fundamental de los climas y de la distribución de la vida sobre la Tierra; la cantidad de lluvia anual varía desde menos

de 5 cm en los desiertos hasta más de diez metros en algunas partes de la India o Hawai.

Es interesante recordar aquí a un fenómeno de rara aparición pero que es capaz de originar trombas de agua: **la gota fría**. Se forma por la acumulación de bolsas de aire frío a unos 5 kilómetros de altura y una temperatura entre los -20 y -60 °C, que se produce por el desplazamiento de bolsas de aire polar que se separan y se mueven hacia otras zonas. Cuando la «gota fría» llega a la zona cálida se forman nubes de gran tamaño. Al ser el aire frío más denso que el caliente, tiende a descender lo que provoca una inestabilidad que hace que se produzcan grandes precipitaciones.

Suelen también formarse en el mar, y al alcanzar la costa verifica la rotura del frente tormentoso a causa del cambio orográfico, desencadenando lluvias torrenciales.

Por último y dado que es un problema la falta de agua en estas islas es interesante detenernos un poco a considerar el fenómeno de producción de **lluvia artificial**.

Consiste en la introducción en el aire de partículas en suspensión para que las gotitas se transformen en hielo en cuanto alcancen zonas bajo cero dentro de la nube.

Las partículas en suspensión constituyen un requisito adicional para la formación de nubes: flotan en el aire natural, facilitan al aire saturado de humedad la formación de gotitas y provocan la formación de hielo a partir de -10 °C. Tienen un tamaño máximo de 1/100 micras ó 1/100.000 mm.

Por medio de experimentos sistemáticos de laboratorio, se ha visto que las partículas más idóneas son:

- Nieve carbónica (Shaefer y Languine, 1946). Es posible multiplicar los cristales de hielo en el seno de una nube proyectándole nieve carbónica. Cada partícula de nieve constituye un núcleo helado (-90 °C) que origina la formación de grandes gotas de lluvia.

- Yoduro de plata. Este procedimiento utiliza la propiedad que tiene el yoduro de plata de cristalizar bajo una forma geométrica muy parecida a la del hielo. Por ello, provocan la solidificación de las gotas de agua sobrefundidas que encuentra.

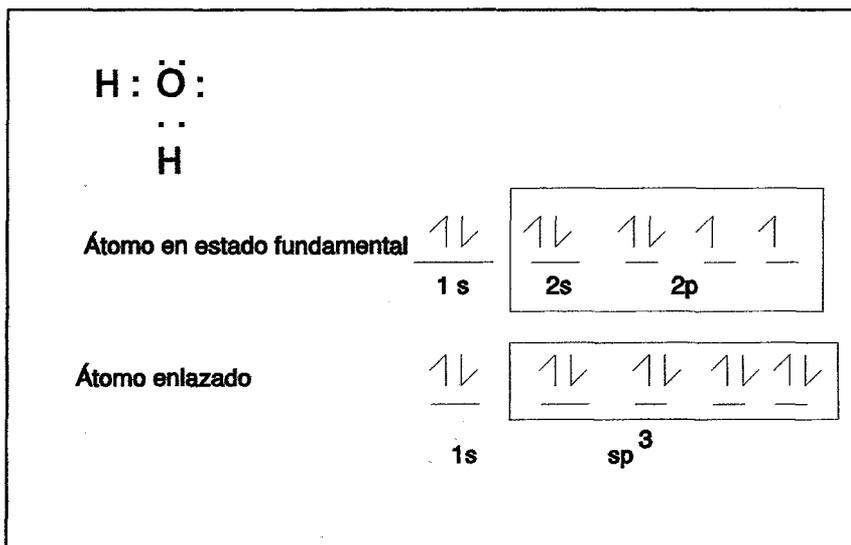
- En otros ensayos se han utilizado partículas higroscópicas de cloruro de calcio.

Estas partículas en suspensión son esparcidas desde un avión para que se filtren desde arriba en la nube y alcancen las partes más adecuadas de la misma.

## ESTRUCTURA DE LA MOLÉCULA DE AGUA

El agua es una molécula triatómica sencilla que tiene un comportamiento complejo. Para comprender la serie de propiedades anómalas que presenta hemos de recurrir a analizar como está constituida su molécula. En ella, dos átomos de hidrógeno y un oxígeno están unidos por dos enlaces químicos covalentes y poseen dos pares de electrones solitarios.

La estructura de Lewis establece para la molécula



Los cuatro orbitales de la capa de valencia del oxígeno ( $Z = 8$ ) hibridizan. Los cuatro orbitales híbridos  $sp^3$  son ocupados por dos pares solitarios y dos pares de electrones enlazantes. La estructura resultante se describe como doblada o angular. En el agua hay incluso un estrechamiento mayor del ángulo de enlace respecto al ángulo tetraédrico de  $109,5^\circ$  que el que hay en el amoníaco; esto se debe a los dos pares de electrones solitarios del agua. Para ésta el ángulo es de  $104,5^\circ$ .

El procedimiento más completo para determinar la estructura de la molécula de agua, sería combinar los orbitales atómicos  $2s$ ,  $2p_x$ ,  $2p_y$  y  $2p_z$  del oxígeno y los dos orbitales  $1s$  del hidrógeno en seis orbitales moleculares cada uno de los cuales se extendieran a lo largo de toda la molécula. Los cuatro orbitales moleculares de energía más baja estarían

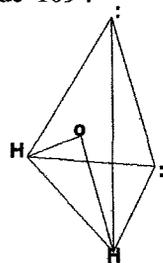
ocupados por los ocho electrones de valencia y los tres átomos permanecerían enlazados. Sin embargo, es más fácil considerar a los dos átomos al mismo tiempo y hablar de *enlaces localizados*. En este modelo, el oxígeno y uno de los hidrógenos se mantienen unidos por un enlace localizado, y el oxígeno y el otro hidrógeno por otro enlace también localizado. Quedan dos pares de electrones del oxígeno sin poner en juego en el enlace por lo que la estructura de Lewis para la molécula coincide con la expresada anteriormente.

Por otra parte, el agua es un buen ejemplo de la bondad del método de repulsión de los pares electrónicos. Se puede suponer que el oxígeno utiliza dos de los tres orbitales **p** para unirse con los orbitales **s** de los átomos de hidrógeno, quedando los dos pares solitarios de electrones en el tercer orbital **p** y en el orbital **s**. El ángulo de enlace sería de  $90^\circ$ .

Si aceptamos el método de la repulsión de los pares electrónicos en la capa de valencia (**VSEPR**)<sup>2</sup>, podemos considerar que los cuatro pares de electrones de valencia alrededor del oxígeno central están en cuatro orbitales moleculares localizados, dos de los cuales serían enlazantes y los otros dos de par solitario. Se producen fuertes repulsiones electrostáticas causadas, por un lado, entre el par de electrones de los orbitales moleculares localizados y por otro, la repulsión de Pauli entre los electrones de spin idéntico. La geometría de la molécula en estas condiciones sería la que garantiza una mayor separación entre los cuatro orbitales moleculares localizados. Esto ocurre cuando los orbitales moleculares apuntan hacia los cuatro vértices de un tetraedro en cuyo centro está el átomo. Por ello, los cuatro pares de electrones alrededor del oxígeno se disponen como en un tetraedro con un ángulo de enlace de  $109^\circ$ .

El ángulo de enlace sería  $109^\circ 28'$  que se acerca bastante al ángulo real de la molécula ( $105^\circ$ ).

Es importante resaltar que los enlaces O-H no son simétricos, ya que el oxígeno atrae hacia sí más electrones que el hidrógeno. La nube electrónica está pues desplazada hacia el oxígeno (por ser más electronegativo), con lo que ésta resulta con un exceso de carga

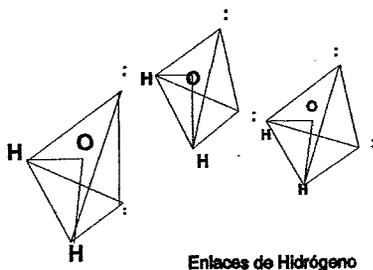


<sup>2</sup> El método de repulsión de pares de electrones en las capas de valencia (VSEPR) es un método simple y razonablemente preciso para predecir formas moleculares. La geometría está determinada por el número de pares de electrones de valencia alrededor del átomo central de la molécula.

negativa mientras que el átomo de hidrógeno tendrá una cierta carga positiva. El enlace O-H presenta un **momento dipolar** <sup>3</sup>.

## ENLACE DE HIDRÓGENO

Al estar unido el átomo de hidrógeno con el de un elemento muy electronegativo como es el oxígeno, el par de electrones del enlace estará muy atraído por éste. El protón (núcleo del hidrógeno) queda de esta forma casi desprovisto de carga negativa, constituyendo un polo positivo muy intenso, y forma entonces unión electrostática con el átomo de oxígeno (polo negativo), de una molécula próxima <sup>4</sup>. Es decir, cuando las



<sup>3</sup> El momento dipolar eléctrico está originado por la separación de las cargas positivas y negativas de una molécula. Corresponde a un par de cargas opuestas e iguales y se calcula como el producto de la carga por la distancia que las separa. Nos da una idea de la polaridad de la molécula. En los enlaces apolares el momento dipolar es igual a cero y en lo polares su valor es superior a cero.

Si una carga positiva y otra negativa, ambas de valor,  $q$ , están separadas por una distancia  $r$ , el momento dipolar,  $D$ , es  $D = q \cdot r$ .

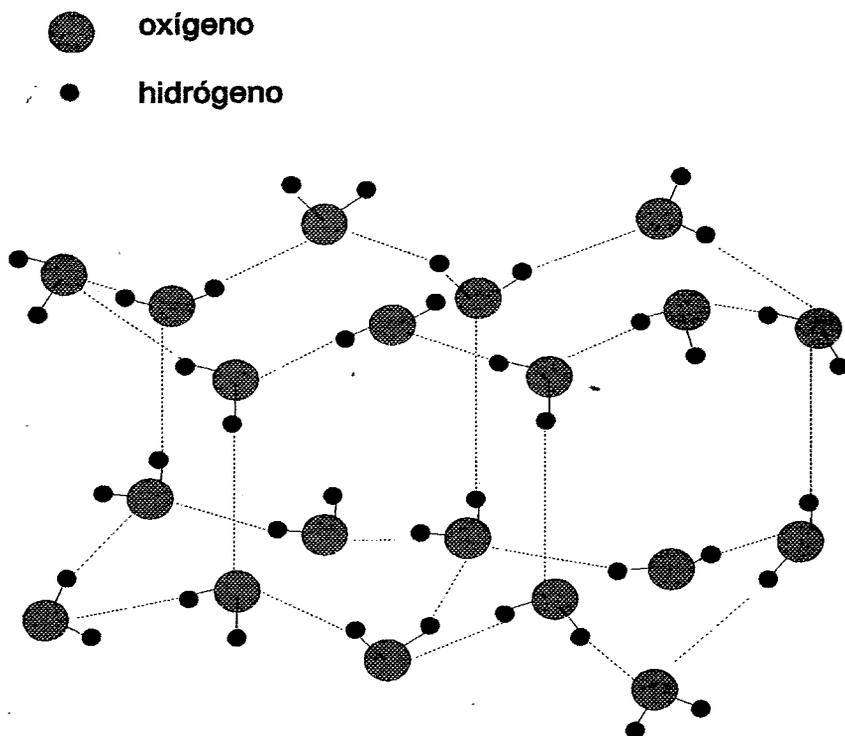
Se expresa en Debye (D) que es igual a  $10^{-18}$  ues cm. Si tenemos en cuenta que la carga de un electrón en el sistema electrostático es  $4,8 \cdot 10^{-10}$ , pues dos cargas unidad separadas por una distancia de  $1 \text{ \AA}$  tendrán un momento dipolar:

$$D = 4,8 \times 10^{-10} \times 10^{-8} \text{ ues cm} = 4,8 \times 10^{-18} \text{ ues cm} = 4,8 \text{ debyes.}$$

El momento dipolar de una molécula es la suma vectorial de los momentos dipolares de sus enlaces. (Ver *Glosario*.)

<sup>4</sup> Este enlace es más fuerte que el de las fuerzas dipolares ordinarias debido por un lado a la gran diferencia de electronegatividad entre el hidrógeno y el oxígeno, y por otro, al tamaño tan pequeño del átomo de hidrógeno, que permite al oxígeno de una molécula acercarse mucho a otra vecina, con lo que aumenta la atracción electrostática entre ambas.

moléculas de agua se aproximan, se establece entre uno de los hidrógenos (que presentan alguna carga positiva como consecuencia del desplazamiento electrónico) y el oxígeno, una cierta atracción de tipo electrostático, que les mantendrá unidas mediante un enlace parecido en cierto modo al iónico: **el enlace de hidrógeno**. Además interviene una interacción del tipo aceptor-dador, en la que el hidrógeno actúa como aceptor y el oxígeno como dador.



Cada molécula de agua tiene dos pares de electrones solitarios (dobletes electrónicos) y dos hidrógenos disponibles, puede por tanto formar cuatro enlaces de hidrógeno.

Muchas de las propiedades singulares del agua líquida son atribuidas al enlace de hidrógeno. En la fase gaseosa, las moléculas de agua están muy separadas unas de otras, sin embargo, en el agua líquida, el enlace

de hidrógeno mantienen unidos grupos de moléculas de agua. Actualmente las investigaciones sobre la estructura de la molécula afirman que en el conjunto del agua líquida existen agregados con un número variable de moléculas de agua que se mantienen unidas por enlace de hidrógeno aunque también están presentes algunas no combinadas. La teoría de «las agrupaciones oscilantes» de la estructura del agua líquida describe que existe un equilibrio dinámico entre agregados y moléculas sencillas, con la existencia de agregados en zig-zag que continuamente se forman, se desmoronan y se vuelven a formar (Bailar, 1978).

En estado sólido (hielo) cada átomo de oxígeno está unido por enlace de hidrógeno a dos átomos de hidrógeno. Por otra parte, cada átomo de hidrógeno está unido covalentemente a un átomo de oxígeno y a su vez, por enlace de hidrógeno a otro átomo de oxígeno. De esta forma cada átomo de oxígeno está unido a otros cuatro átomos de oxígeno a través de átomos de hidrógeno. Estos enlaces se extienden a todo el cristal formando una estructura tetraédrica muy abierta parecida a un panal y se aprecian unos canales entre los centros de los anillos de seis miembros. Como consecuencia de ello, el volumen aumenta.

## PROPIEDADES DEL AGUA

Como decíamos anteriormente, el agua es el compuesto químico más abundante y se encuentra distribuida en el globo terrestre presentándose en tres estados: sólido, líquido y gas dando lugar al hielo, agua líquida y vapor de agua.

El agua del mar constituye el 97,2 % de la existente en la naturaleza. El resto está: en forma de hielo y glaciares (2,1%); como lagos, ríos y agua subterránea (0,6 %) y como aguas cargadas de sal (0,1%).

Por otra parte, toda la materia viviente contiene agua, de hecho el cuerpo humano es agua en un 65% y los vegetales la contienen en diferente proporción. La lechuga prácticamente es agua en un 94,7 %

El agua natural más pura es la de lluvia. Pese a ello contiene cantidades apreciables de sólidos y gases disueltos, y materia en suspensión, junto con microorganismos, incluso después de haber llovido un tiempo suficiente para haber arrastrado la mayor parte del polvo atmosférico.

Las principales fuentes de donde se obtiene el agua pueden clasificarse

carse en: Aguas de lluvia y superficiales; manantiales y ríos; pozos y perforaciones y agua del mar.

La estructura de la molécula del agua con su elevada polaridad y la existencia de enlaces de hidrógeno hacen que presente una serie de propiedades anómalas. Para probar esta afirmación citaremos algunos hechos familiares pero que no dejan de ser excepcionales : el hielo flota en el agua; la capacidad calorífica es increíblemente alta, presenta una gran tensión superficial; a la temperatura ambiente debería ser un gas, etc. En el cuadro siguiente aparecen los valores de algunos de los parámetros del agua<sup>5</sup>.

A continuación explicaremos con detalle algunas de las propiedades más características de este compuesto tanto desde el punto de vista físico como químico:

Peso molecular (uma)		18,0154	Tensión superficial	71,97 dinas/cm
Punto de fusión		0 °C	Calor específico	0,99828 cal/g°C
Punto de ebullición		100 °C	Entalpía formación	— 68,315Kcal/mol
Densidad	0 °C	0,9168	Entalpía fusión	1,4363 Kcal/mol 6,01 Kj/mol
	3,98 °C	0,99997	Entalpía vaporización	9,717 Kcal/mol 40,7 Kj/mol
	25 °C	0,99704	Momento dipolar	1,84 Debyes
Presión de vapor		23,756	Punto triple	0,0100°C 4,85 Torr

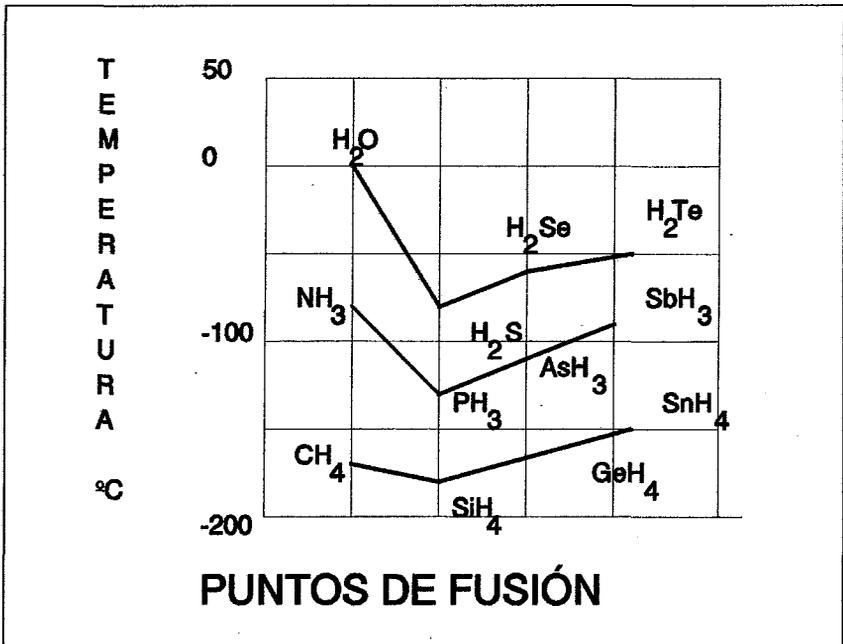
### 1) *A la temperatura ambiente debería ser un gas*

Como consecuencia de la existencia en la molécula de agua de enlaces de hidrógeno, los valores del punto de fusión y ebullición, así como del calor de fusión son relativamente elevados en comparación con los hidruros del grupo VI tal como puede verse en la tabla siguiente:

<sup>5</sup> Adaptado de BAILAR, J. C. (1983): *Química*, pp. 352.

Hidruros	Punto de fusión °C	Punto de ebullición °C
H <sub>2</sub> O	0	100
H <sub>2</sub> S	-62,9	-60,1
H <sub>2</sub> Se	-64	-42
H <sub>2</sub> Te	-54	-1,8

Si se estudian los puntos de ebullición normales de compuestos de hidrógeno de los elementos representativos del grupo IV, V, VI y VII puede observarse que el amoníaco, el agua y el ácido fluorhídrico no coinciden con las tendencias de su serie. En cada caso resulta demasiado alto, sin embargo, el del metano, presenta valores normales. La explicación puede estar en que tanto el amoníaco como el agua y el ácido fluorhídrico tienen más de un par de electrones solitarios en un átomo altamente electronegativo que origina enlaces de hidrógeno lo que aumenta el punto de ebullición. Al no ser el carbono electronegativo y no tener pares de electrones solitarios, no presenta enlaces de hidrógeno y por tanto su punto de ebullición es el esperado teóricamente.



## 2) Punto de fusión

Fusión, es un término que se utiliza para describir la conversión de un sólido en líquido. El punto de congelación es idéntico al de fusión pero se consigue alcanzar desde la dirección de temperaturas opuesta. En otras palabras, el punto de congelación es una propiedad de un líquido y el punto de fusión es una propiedad de un sólido. Para una sustancia pura, el punto de congelación del líquido a una presión dada es igual al punto de fusión del sólido.

La adición de calor a un sólido hace que las partículas vibren cada vez más rápidas en sus posiciones fijas hasta que dejan de estar tan fuertemente retenidas en su posición y, por tanto, están lo suficientemente libre para formar un líquido.

El punto de fusión de un sólido a una presión dada es la temperatura a la que el sólido y el líquido están en equilibrio a dicha presión, El punto de fusión normal de un sólido es el punto de fusión a la presión de una atmósfera. Para el agua es  $0.0024^{\circ}\text{C}$ .

Se puede identificar tanto el punto de fusión como el de ebullición de una sustancia como la temperatura a la cual el cambio total de entropía que acompaña a la transición de fase es cero. A temperaturas más altas, la fusión y la vaporización son espontáneas.

Los puntos de fusión de las sustancias aumentan con la presión, sin embargo, en el agua no ocurre esto, de hecho congela a **temperatura inferior** bajo presión: a 100 atm congela a  $-5^{\circ}\text{C}$ . Esto se atribuye a los enlaces de hidrógeno que mantienen a las moléculas del agua en una estructura más abierta. La densidad del agua en el estado líquido es mayor que la del estado sólido. Por ello el líquido tiene una estructura más compacta que el sólido. De hecho si perturbamos el equilibrio del paso de agua sólida a líquida calentando a volumen constante:



puede observarse que la temperatura aumenta pero la presión disminuye. Esto ocurre porque como decíamos anteriormente el agua líquida es más compacta que el agua sólida. En consecuencia, el aumento de la presión en un sistema en equilibrio sólido-líquido produce un desplazamiento del equilibrio en la dirección de la fase más densa. Como resultado de ello, el punto de fusión o congelación del agua disminuye con

el aumento de presión, mientras que para la mayor parte de las otras sustancias aumenta.

Cuando se aplica presión sobre una muestra, el agua tiende a permanecer líquida, porque entonces ocupa un volumen menor. Inversamente el hielo tiende a fundir bajo presión, porque está más favorecida la estructura más compacta característica del agua líquida.

Se cree que la fusión del hielo bajo presión contribuye al avance de los glaciares. La presión del peso del hielo sobre las partes más profundas en el interior del glaciar conduce a muy altas presiones locales. Se forma líquido a pesar de que la temperatura es bastante baja, y el glaciar se desliza lentamente hacia abajo sobre la película de agua.

Igualmente, el patinaje sobre hielo se facilita, en parte, por la disminución del punto de congelación del agua con el aumento de la presión. Las irregularidades casi imperceptibles que normalmente presentan la superficie del hielo y la cuchilla de los patines hacen que se produzcan altas presiones en esos puntos lo que origina una disminución en el punto de congelación, y si la temperatura del hielo está por encima de éste, el hielo se funde.

### 3) *Punto de ebullición*

Cuando se aumenta suficientemente la temperatura de un líquido que se encuentra en un recipiente abierto, llega un momento en que las moléculas que escapan a la fase gaseosa tienen la energía suficiente para desplazar a las moléculas de los gases atmosféricos. Esta temperatura es el punto de ebullición del líquido (la temperatura a la que la presión del vapor de un líquido es igual a la presión del gas sobre el líquido), formándose burbujas de vapor por todo el líquido. Por tanto, el punto de ebullición varía con la presión y es esencial conocer la presión a la que se ha determinado el punto de ebullición.

El punto de ebullición normal de un líquido, es su punto de ebullición a la 760 mm de mercurio (1 atmósfera), la presión atmosférica media sobre el nivel del mar. Puede suponerse que cuando se da un punto de ebullición sin indicar la presión, se trata del punto de ebullición normal.

La curva de presión de vapor de una sustancia muestra su punto de ebullición a diferentes presiones. Por debajo de la presión atmosférica los puntos de ebullición son más bajos que el punto de ebullición normal.

A 9.000 pies <sup>6</sup> ( 2.743,20 m) sobre el nivel del mar la presión es de unos 550 torr (550 mm de Hg) el agua hierve a 91<sup>o</sup> C. A esta altitud un huevo debe hervir unos cinco minutos para tener la misma consistencia que la de un huevo que ha hervido tres minutos sobre el nivel del mar y un huevo duro precisa de unos 18 minutos.

Finalmente, hemos de considerar que, en general, los líquidos no presentan ni las grandes distancias intermoleculares promedio de los gases ideales ni la regularidad estructural de un cristal, quizás por ello, presentan algunas irregularidades como pueden ser el sobrecalentamiento y el sobreenfriamiento.

- *Sobrecalentamiento.* Un líquido hierve cuando su temperatura aumenta lo suficiente para que su presión de vapor iguale a la atmosférica. Para que pueda empezar la ebullición, deben formarse dentro del líquido pequeñas burbujas formadas sólo de unas pocas docenas de moléculas. Ellas sirven como núcleos a los que se adicionan muchas moléculas para dar lugar a burbujas más grandes, ya visibles y que suben a la superficie del líquido. En algunos líquidos este proceso es muy lento. Los líquidos puros tienen una temperatura de ebullición constante, pero cuando no se forma el núcleo de burbujas, la temperatura del líquido calentado aumenta por encima del punto de ebullición. Este fenómeno se denomina **sobrecalentamiento**.

Este fenómeno puede convertirse en un problema real en el laboratorio ya que el líquido no permanece indefinidamente sobrecalentado sino que llega un momento en que la burbuja que se forma puede crecer de forma explosiva, fenómeno conocido como vaporización súbita que tiene a que parte del líquido salga del recipiente. Este fenómeno puede reducirse adicionando una astilla de ebullición o piedras de ebullición que consisten en pequeñas piedras de un material cerámico que presenta superficie porosa. El aire atrapado en estos poros sirve como núcleo de burbujas eliminando el sobrecalentamiento. Para soluciones acuosas se suele utilizar teflón que no son indicados para disolventes orgánicos.

- *Sobreenfriamiento.* Es el descenso de la temperatura de congelación por debajo del punto de congelación que experimentan algunos líquidos al congelarse. Su fundamento es similar al del sobrecalentamiento.

---

<sup>6</sup> 1 pie equivale a 30,48 cm.

## DIAGRAMA DE FASES <sup>7</sup>:

El punto A a 0°C y 1 atm sobre el diagrama de fases del agua muestra las condiciones en las cuales están presentes en equilibrio dinámico las dos fases hielo y agua líquida.

La línea horizontal dibujada a 1 atmósfera de presión nos permite localizar los puntos normales de fusión y ebullición del agua.

El punto de fusión normal es la temperatura a la cual coexisten el agua sólida y líquida en equilibrio a 1 atmósfera, y por ello se encuentra en el punto donde la líneas sólido-líquida cruza la línea de 1 atm.

El punto triple es el punto donde se encuentran los tres límites de fases (273,16 K). Para el agua está a 4.6 Torr y 0.01°C. Bajo estas condiciones ( y solo éstas) el hielo, líquido y vapor coexisten en equilibrio dinámico. En el punto triple, la presión de vapor del agua líquida es la misma que la del hielo. El punto triple del agua es una propiedad fija característica e indica la menor temperatura a la que puede existir el líquido. El agua líquida existe solo si su presión de vapor es mayor que 4.6 Torr. En una mañana fría y seca en la Tierra, la presión parcial del agua puede ser inferior a 4.6 Torr, y puede aparecer y desaparecer la escarcha.

El punto triple del agua se utiliza como la temperatura de referencia para la escala de temperaturas termodinámicas.

El punto de ebullición de un líquido a una presión dada, P, es la temperatura a la que su presión de vapor de equilibrio se iguala a p. El punto de ebullición normal es la temperatura a la cual la presión de vapor del líquido es 1 atm. y la línea líquido-gas cruza la de 1 atm. La línea AC da el punto de ebullición del agua como una función de la presión. Si se considera a T como variable independiente, línea AC da el punto de ebullición del agua como una función de la temperatura.

La línea AD es la del equilibrio sólido-líquido para el agua y da el punto de fusión del hielo como una función de la presión. Puede observarse como decrece lentamente cuando la presión aumenta.

A lo largo de la línea OA ( curva de presión de vapor del sólido), existe un equilibrio entre sólido y vapor. El hielo calentado a una pre-

---

<sup>7</sup> Un diagrama de fases es un gráfico que muestra las condiciones bajo las cuales una fase puede transformarse en otra. Cada línea representa las condiciones de temperatura y presión en las que las dos fases pueden estar en equilibrio. Pueden emplearse para controlar los cambios de temperatura y presión de una sustancia.

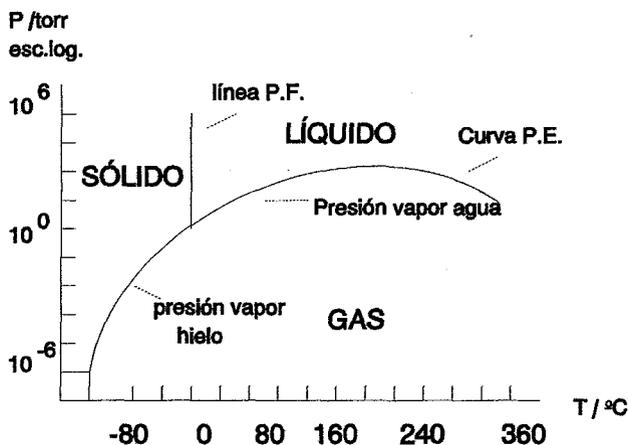


Diagrama fase agua dibujado exactamente. Tomado de LEVINE, p. 226.

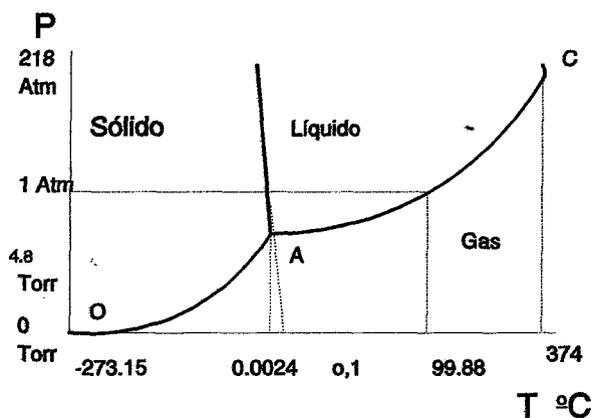


Diagrama de fases del agua. La escala vertical es logarítmica.

sión por debajo de 4,58 Torr sublimará a vapor en lugar de fundir a líquido.

El punto C es el punto crítico. La temperatura en este punto se denomina Temperatura crítica  $T_c$  y la presión crítica  $P_c$ . Para el agua  $T_c=647$  K y  $P_c=218$  atm. Por encima de esta temperatura las fases líquidas y vapor no pueden coexistir en equilibrio lo que hace que una compresión isotérmica del vapor no producirá condensación.

Como puede observarse en el diagrama de fases la región gaseosa únicamente está claramente separada de la líquida a temperaturas iguales o por debajo de la crítica. En la parte superior derecha del diagrama el área líquida es continua con la gaseosa. Ya no existe distancia entre líquido y gas. El hecho de que no sea siempre posible clasificar definitivamente un fluido como líquido o como gas es una afirmación del principio de continuidad de estados.

De la curva de fusión se deduce que la temperatura de fusión del hielo disminuye al aumentar la presión; esto explica muchos fenómenos como el **rehielo**. Este puede comprobarse experimentalmente de forma fácil si sobre un bloque de hielo sujeto por ambos lados, se coloca un alambre fino de cuyos extremos se han colgado dos pesos de varios kilogramos. Se puede observar cómo el alambre atraviesa el bloque pero no se separa en dos partes. Puede explicarse admitiendo que el alambre ejerce una gran presión sobre los puntos en que se pone en contacto con el hielo y hace que éste se funda al disminuir su punto de fusión, ya que está a 0°C. El agua líquida que se forma se queda encima del alambre y al apoyarse el mismo sobre una porción inferior origina que esta también se derrita. La energía calorífica que necesita la obtiene del agua líquida, que al no estar sometida a presión, se congelará estando a 0°C.

Muchas sustancias pueden existir en más de una fase sólida y se denominan polimórficas. El agua es una de ellas, presenta ocho formas diferente de hielo, con diferente estructura cristalina. De ellas el Hielo I es la única forma de agua sólida menos densa que el líquido. Las otras todas son más densas, por lo que el principio de Le Châtelier predice que sus puntos de fusión aumentarán con el aumento de la temperatura. Como resultado, un cubo de hielo hecho de uno cualquiera de esos hielos se hundirán en el agua.

#### 4) *Densidad*

La densidad de un cuerpo disminuye al aumentar la temperatura. Lógicamente, el incremento de temperatura produce una mayor agitación térmica de las moléculas, átomos o iones que forman el cuerpo y ocupan un mayor volumen, para una misma masa, por lo tanto la densidad es menor. Sin embargo se ha comprobado experimentalmente que en el caso del agua no ocurre así.

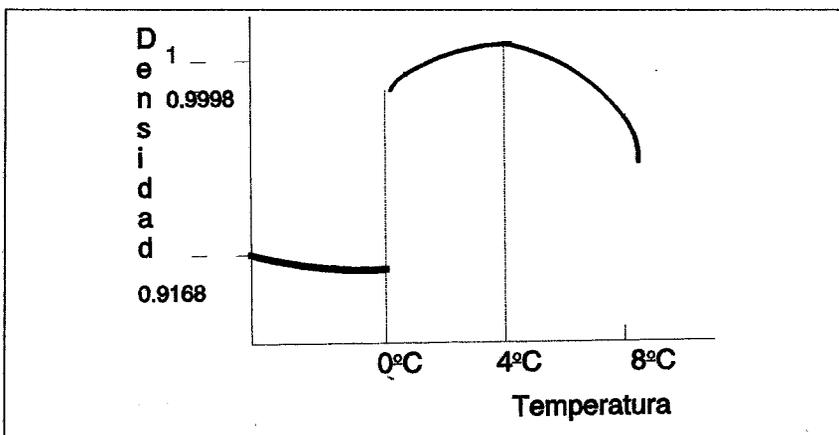
Podemos considerar que como consecuencia de los enlaces de hidrógeno que se forman entre las moléculas de agua, su volumen en estado sólido es mayor y por tanto la densidad será menor. Esta anomalía continúa hasta los 4°C.

Al fundirse el hielo se produce un brusco aumento de la densidad. De un valor de 0.9168 que tiene el hielo a 0°C pasa a 0.9998 que posee el agua líquida a 0°C.

En la gráfica puede observarse cómo al ir aumentando la temperatura la densidad aumenta, en contra de la ley general, logrando el valor máximo a 4°C. A partir de esta temperatura, la densidad del agua va disminuyendo progresivamente como lo hace cualquier líquido.

El primer fenómeno (aumento de la densidad al fundirse el hielo) podría explicarse suponiendo que en el agua líquida existe una estructura pseudocristalina y al realizarse el cambio del estado sólido al líquido, la coordinación de las moléculas aumenta y con ella el valor de la densidad.

Por otro lado, cuando el hielo se funde, se rompen la mayor parte de los enlaces de hidrógeno. La agitación térmica causa el desprendimiento de cierto número de moléculas que penetran entre los huecos de la red cristalina, por lo que ésta se hace más compacta. Este efecto se mantiene hasta los 4°C y por ello el valor de la densidad es máximo. A partir de esta temperatura la agitación térmica es suficientemente intensa como para romper la red cristalina, las moléculas se separan y por tanto la densidad disminuye y el agua se comporta de una manera normal.



Temperatura ° C	Densidad g/c.c.
0 (hielo)	0. 916800
0 (agua líquida)	0. 999868
4	1. 000000
10	0. 999727
15	0. 999126
20	0. 998230
25	0. 997071

### Viscosidad

La viscosidad de un líquido es la resistencia que ofrecen las moléculas a resbalar unas sobre otras. La viscosidad es una consecuencia de las fuerzas entre sus moléculas. Esto es lógico ya que cuanto mayores son las fuerzas que dificultan el movimiento de sus moléculas mayor será su viscosidad. El enlace de hidrógeno es importante puesto que puede unir las moléculas vecinas muy intensamente. Esto explica que el agua tenga mayor viscosidad que el benceno que no tiene enlace de hidrógeno

Disminuye mucho con la temperatura ya que la agitación térmica va venciendo la atracción debida a los polos y las distancias intramoleculares se hacen mayores. Normalmente aumenta al aumentar la presión. En el agua a 100° C es la sexta parte de la que presenta a 0°C.

La viscosidad del agua es de aproximadamente 0,01 poise<sup>8</sup>. Se determina la viscosidad dejando caer una pequeña esfera metálica en un depósito con el líquido cuya viscosidad se pretende determinar, y medir el tiempo que tarda en descender. Un líquido con alta viscosidad como puede ser la melaza, se dice que es «viscoso».

Sustancia	Viscosidad en centipoises
BENCENO	0,60
AGUA	0,89
ÁCIDO SULFÚRICO	19
ACEITE DE OLIVA	80
OXÍGENO	0,021

<sup>8</sup> Unidad de viscosidad de un fluido. El término deriva del nombre del fisiólogo francés Jean-Marie Poiseuille (1797-1896). 1 Poise equivale a 1 dina.s.cm<sup>-2</sup> = 0,1 N.s. m<sup>-2</sup>.

Se considera también la viscosidad cinemática que es un parámetro que determina la relación entre la viscosidad y la densidad del fluido. Su determinación se lleva a cabo midiendo el tiempo que tarda el fluido en atravesar una abertura de pequeño tamaño. Se expresa en stokes.

## 6) *Tensión superficial*

La tensión superficial es la fuerza de un líquido que hace que la superficie actúe como una membrana elástica envolvente que tienen a contraer el área al máximo. Se produce porque las moléculas de la superficie están sujetas a atracciones por parte de las moléculas internas, pero no en la dirección opuesta. Este desequilibrio de fuerzas origina la tensión superficial.

Es una consecuencia de la fuerte atracción que se ejercen entre sí las moléculas de agua por enlace de hidrógeno. Los valores de la tensión superficial se miden normalmente en la interfase gas-líquido, comúnmente aire y varían con la composición del líquido y los solutos que hay en él.

La tensión superficial de los líquidos polares, como el agua, es grande lo que limita su facilidad para «mojar» sólidos y mezclarse con líquidos no similares. La tensión superficial del agua es tres veces mayor que la de la mayoría de los otros líquidos. Esto explica la formación de gotas de agua y la propiedad de una superficie de agua de sostener el peso de objetos muy ligeros. Pueden comprobar experimentalmente cómo una aguja puede flotar en el agua de un plato.

Cuando se vierte agua sobre el suelo, se forman charcos que ocupan una superficie mayor que la inicial. Las moléculas se mueven desde el interior del agua hasta la superficie donde están menos atraídas. Si no existiese la gravedad el agua formaría una esfera para lograr que el mayor número posible de moléculas estén rodeadas de otras vecinas y de esa forma la energía total sea mínima. Cuando estamos en presencia de la gravedad, la menor energía se obtiene cuando el líquido adopta una forma casi plana aunque como es lógico el número de moléculas rodeadas por vecinas es mucho menor.

También puede justificarse el hecho de que el agua pueda ascender por los estrechos conductos de los tallos y raíces de las plantas por acción capilar. Igualmente contribuye a sostener el agua en los pequeños intersticios entre las partículas del suelo.

Puede definirse también la **tensión superficial** como la energía necesaria para crear una nueva área superficial trasladando moléculas de la masa líquida a su superficie

También, la **capilaridad**, es decir el ascenso de los líquidos por tubos muy estrechos, es otro efecto debido a las fuerzas intermoleculares. La ascensión por el tubo se debe a las fuerzas de **adhesión**, que son las que unen una sustancia a una superficie, diferentes de las de **cohesión**, que son las que mantienen unidas las moléculas de un mismo cuerpo y son las responsables de la condensación. La altura que alcanza el líquido depende de la tensión superficial así como de la densidad del mismo. Si denominamos,  $\gamma$ , a la tensión superficial,  $r$  al radio del tubo,  $g$ , la aceleración de la gravedad, y  $\rho$ , la densidad del líquido, la altura que alcanza el líquido en el tubo vendrá expresada como:

$$h = \frac{2 \gamma}{\rho g r}$$

En consecuencia, los tubos más estrechos originan columnas líquidas más altas.

Un efecto de las fuerzas de cohesión y las de adherencia, son los **meniscos**, es decir, la superficie curvada que forma un tubo estrecho. En el caso del agua, en un tubo estrecho presenta forma de U debido a que la adherencia entre el tubo de vidrio y el agua es mayor que la cohesión entre las moléculas del líquido. El agua tiene a cubrir la mayor área posible del vidrio.

Existen sustancias llamadas «surfactantes» o agentes tensioactivos cuya misión es reducir la tensión superficial de los líquidos. Entre ellos podemos destacar a los detergentes, que reducen la tensión superficial del agua permitiendo que moje más eficazmente la tela así como que cubra partículas de polvos secos y otras materias finamente divididas

El jabón no es el único detergente. Actualmente se usan una serie de productos que a diferencia de los jabones no están fabricados a partir de grasas ni aceites. Están formados, en general, ya que existen muchos tipos, por moléculas constituidas por un grupo salino, soluble en agua, unido a una cadena larga de hidrocarburo. La suciedad y la grasa atraen a esta parte, mientras que el grupo salino es atraído por la molécula de agua. De esta forma se origina una película alrededor de cada partícula de grasa, suciedad que es atraída hacia el agua que la arrastra.

## 7) *Capacidad calorífica*

Cuando una sustancia al calentarse no cambia de estado ni sufre una reacción química, su temperatura se eleva. La energía calorífica necesaria para aumentar la temperatura de una sustancia en un grado centígrado, se le denomina capacidad calorífica de la sustancia, se mide en cal/grado. Si consideramos la que necesita un gramo de una sustancia cualquiera para ese mismo incremento de temperatura estamos ante 1 parámetro conocido como «calor específico» que se expresa en cal/g grado. Cuando se trata de un mol de una sustancia cualquiera se conoce como «calor molar» y, se expresa en JK<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>. Se puede observar que la capacidad calorífica es una propiedad específica de cada cuerpo, mientras que el calor específico lo es de cada sustancia.

En el agua, es increíblemente alta. Esto significa que puede absorber gran cantidad de energía calorífica sin que se produzca un cambio grande en su temperatura. La capacidad calorífica específica promedio del agua es 1,00 cal/gK = 4,184 kJ/KgK. La definición de la unidad «caloría» se basaba precisamente en la cantidad de energía calorífica que debería tomar un gramo de agua para elevar su temperatura de 14,5 a 15,5 ° C.

Un fenómeno bien conocido por los estudiantes como son las brisas, se explica precisamente por el hecho de la diferente capacidad calorífica de los cuerpos. De hecho, son vientos de origen térmico que se producen generalmente en las laderas de las montañas y en las costas. Se explican por la diferencia de temperatura que alcanzan el mar y la tierra debido a su distinto calor específico. Durante el día el aire se eleva sobre la tierra, más caldeada y el viento sopla del mar al continente. Durante la noche el movimiento es el inverso, y la brisa de la tierra sopla desde el continente, enfriando más rápidamente, hacia el mar que conserva la misma temperatura.

En las montañas un idéntico proceso provoca la brisa diurna, del valle a la cumbre y la brisa nocturna en sentido contrario.

## 8) *Conductividad térmica*

La elevada conductividad térmica significa que el agua transporta rápidamente el calor desde sus alrededores y a sus alrededores. Estas propiedades ayudan a moderar el clima. Además los animales de sangre

caliente mantienen los estrechas márgenes de temperatura corporal que les son necesarios, con la ayuda del elevado calor específico del agua y de su elevado calor de vaporización, mediante el cual el exceso de calor se consume en evaporar el agua de la piel. Debido también al elevado calor de vaporización del agua necesita más calor que otros líquidos para evaporar una determinada cantidad, esto es beneficioso tanto para las plantas como para los animales ya que reduce al mínimo la cantidad de agua que necesitan para vivir.

### 9 ) *Constante dieléctrica*

Esta constante mide la disminución que experimentan las fuerzas de Culomb, entre dos iones situados en su interior. Para el agua,  $D$ , alcanza un valor muy elevado: 81,7. Esto quiere decir que las fuerzas de atracción entre dos iones, dentro del agua se hacen 81,7 veces menor y por ello el agua es un gran disolvente de compuestos iónicos. El único producto que le supera es el ácido fluorhídrico (83,6), pero su gran abundancia y la facilidad de su manejo hacen que sea mucho más utilizada que el ácido.

## **EL AGUA COMO DISOLVENTE**

La importancia del agua radica en que la mayoría de las reacciones químicas se desarrollan en medio acuoso, o por lo menos necesitan la presencia del agua para producirse. Así ocurre con la corrosión del hierro y de otros metales más activos incluso, que no se produce cuando se encuentran en presencia de oxígeno puro, pero sí cuando éste está húmedo. Por esto creemos conveniente recordar, algunos aspectos básicos de las disoluciones

### **SOLUBILIDAD**

La solubilidad de un cuerpo en un determinado solvente depende de la magnitud relativa de las fuerzas que actúan entre las partículas del soluto, entre las del solvente y entre la de ambos. Las sustancias polares e iónicas tienden a ser solubles entre sí, pero a menudo deben considerarse interacciones específicas.

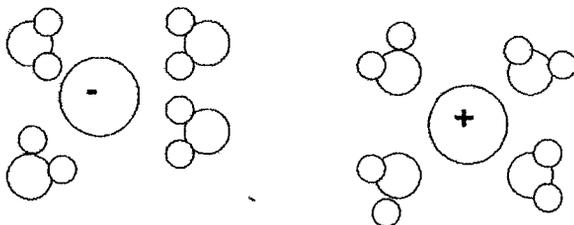
La solubilidad de una sustancia depende de la temperatura y de la presión. De hecho, el principio de Le Châtelier es eficaz para pronosticar los cambios que se originan en la solubilidad al variar los valores de la presión y la temperatura. El cambio de la solubilidad con la temperatura depende del calor de solución a la saturación. Por su parte, el calor de solución de un sólido en agua depende a su vez, de la energía reticular del sólido y de la energía de hidratación de sus partículas.

La mayor parte de las sales son solubles en agua, aunque existen otras cuya solubilidad es muy pequeña, prácticamente son insolubles. En general las sustancias polares son solubles en agua sobre todo si pueden formar enlaces de hidrógeno con ella. Esto se debe a que la disolución no es posible más que si las fuerzas de atracción que ejercen las moléculas del soluto entre sí y las moléculas del disolvente entre sí, pueden intercambiarse. Esto sólo puede darse cuando son de la misma naturaleza y de intensidad similar. Si esto no ocurre, no hay disolución.

Una razón para que el agua disuelva sustancias iónicas es su capacidad para estabilizar sus iones en solución y mantenerlos separados unos de otros. Esto se debe fundamentalmente a su alta constante dieléctrica.

Cuando se disuelve en agua una sal, se rompe su estructura cristalina. Para ello, hay que vencer las fuerzas de atracción entre los iones, es decir hay que superar la energía reticular de la sal. Esto se logra gracias a la hidratación de los iones en disolución. Generalmente, la energía de hidratación suele ser menor que la reticular, por lo que el proceso de disolución es casi siempre endotérmico. Por ello, la solubilidad de casi todas las sales aumenta con la temperatura.

Hay que advertir que los iones en disolución no se encuentran de la misma forma que los iones aislados. Cada ión de la sustancia disuelta, soluto, se rodea de un cierto número de moléculas de disolvente. Este fenómeno, solvatación, se denomina en el caso del agua, hidratación.



Orientación de las moléculas de agua según el signo del ión. Hidratación.

Por otra parte, el proceso de disolución aumenta normalmente el desorden, y por tanto la entropía, con lo que se favorece la disolución. Podemos afirmar que existen dos factores opuestos: el término energético (entálpico) que se opone a la disolución y el término entrópico que la favorece. De ahí que para cada temperatura, se establezca un equilibrio de solubilidad.

SOLUBILIDAD EN AGUA DE COMPUESTOS IÓNICOS <sup>9</sup>		
Aniones + Cationes	Solubilidad de las sales	
Todos	alcalinos y $\text{NH}_4^+$	Solubles
Nitratos Cloratos Acetatos	Casi todos	Solubles
Cloruro Bromuro Yoduro	$\text{Ag}^+$ , $\text{Cu}^+$ , $\text{Hg}_2^{2+}$ $\text{Pb}^{2+}$ Los demás	Insolubles  Solubles
Sulfatos	Calcio, Estroncio, Bario y Plomo(II) Los demás	Insolubles Solubles
Hidróxidos	Alcalinos, Estroncio, Bario y Amonio Los demás	Insolubles Solubles
Carbonatos Fosfatos	Alcalinos y Amonio Los demás	Solubles Insolubles

Queremos, finalmente, mencionar aquí otro tipo de compuestos en cuya composición entra el agua y que los alumnos, normalmente, no tienen bien definidos: los hidratos. Son compuestos inorgánicos que se han combinado con una proporción definida de moléculas de agua. Sus fórmulas se escriben con un punto centrado entre las moléculas de agua y el del compuesto. Esta forma no permite distinguir las diversas maneras en que el agua puede incorporarse al compuesto.

<sup>9</sup> Adaptada de MORCILLO, J. y FERNÁNDEZ, M. (1989), *Química*. Anaya. Madrid, pp. 321.

Los cristales azules de sulfato de cobre (II) están formados por 5 moléculas de agua, es el sulfato de cobre (II) pentahidratado. El agua contenida en el cristal se llama «agua de hidratación» y se puede eliminar calentando los cristales que se transforman en un polvo blanco sulfato de cobre(II) anhidro.

Las fuerzas que mantienen unidas a las moléculas de agua en los hidratos no son muy fuertes como lo demuestra la facilidad con que el agua se pierde y se recupera. Las moléculas de agua pueden estar unidas de formas diferente:

- \* Por enlaces de hidrógeno.
- \* Por enlaces covalentes coordinados a un átomo central.
- \* Ocupar posiciones fijas o al azar dentro de la red cristalina.

Por otra parte es interesante resaltar que las moléculas de agua no tienen que estar unidas de la misma forma dentro de un mismo compuesto. Por ejemplo en el compuesto anteriormente citado, cuatro moléculas de agua están unidas al ión cobre positivo y la otra unida por enlace de hidrógeno al ión sulfato negativo y a dos de las cuatro moléculas de agua. Esto lleva a escribir su fórmula de una forma más correcta como  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4] \text{SO}_4(\text{H}_2\text{O})$ .

## DISOLUCIONES

Las disoluciones son dispersiones de las partículas de un cuerpo (sólido) entre las de otro (disolvente). Realmente deben considerarse como mezclas ya que no cumplen con las leyes de la combinación, pero sus características y propiedades son tan peculiares que las diferencian de todos los demás tipos de mezclas.

Una disolución es siempre homogénea, es decir, existe igual cantidad de soluto y disolvente en cualquier parte de la disolución. Hay que resaltar que tanto uno como otro conservan inalteradas sus propiedades químicas pero no ocurre lo mismo con las físicas que varían considerablemente, en especial el punto de fusión y ebullición, la densidad y la presión de vapor.

Las disoluciones pueden definirse como **mezclas homogéneas de dos o más cuerpos y cuya composición puede variarse.**

Para que una disolución pueda considerarse como tal, las partículas deben tener una magnitud inferior a  $10^{-7}$  cm. De hecho, en la primera cla-

sificación que se hizo incluía a las suspensiones (cuyo tamaño era de  $10^{-5}$  cm) y a las suspensiones coloidales o pseudodisoluciones en la que las dimensiones de las partículas estaban comprendidas entre  $10^{-5}$  y  $10^{-7}$  cm.

El cuadro siguiente presenta una clasificación de las disoluciones según el tipo de disolvente y soluto que las formen:

TIPOS DE DISOLUCIONES		
Disolvente	Soluto	Ejemplificación
SÓLIDO	GAS	Hidrógeno en esponja de platino
	LÍQUIDO	Amalgamas
	SÓLIDO	Aleaciones
LÍQUIDO	GAS	Ácido clorhídrico en agua
	LÍQUIDO	Etanol en agua
	SÓLIDO	Nitrato potásico en agua
GAS	GAS	Aire
	LÍQUIDO	Niebla
	SÓLIDO	Humo

El fenómeno de la disolución puede explicarse por la teoría cinética. Si consideramos la disolución de un sólido en agua, a título de ejemplo, al entrar en contacto con ella, las moléculas de agua, atraen a las de la superficie del sólido y ello facilita que las moléculas del sólido que poseen mayor energía de vibración se separen de su superficie y se difundan con un movimiento desordenado por toda la masa del líquido.

Al ser la disolución un fenómeno de superficie, la agitación del soluto y su mayor superficie de contacto (pulverizar el sólido, por ejemplo), favorece la disolución. Esto es familiar para los alumnos, basta recordarles el hecho corriente de pulverizar un sólido o agitar un líquido para favorecer la disolución : remover el café para que se endulce.

## MEDIDAS DE CONCENTRACIÓN

Cuando se realizan cálculos estequiométricos para las reacciones que se llevan a cabo en disolución, se necesita saber cuántos moles de soluto hay en un volumen determinado de disolución. Por otra parte, para

predecir el efecto de los solutos sobre las propiedades físicas de las disoluciones, es más interesante conocer el número relativo de moléculas de soluto y disolvente. Por ello, se aceptan diferentes formas de expresar la concentración de una disolución unas basadas en la cantidad de soluto y otras, en el número de moléculas.

a) *Basadas en la cantidad de soluto*

\* **Concentración molar o molaridad**<sup>10</sup>: es el número de moles de soluto por litro de disolución

$$\text{Concentración molar} = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{litros de disolución}}$$

La unidad es moles por litro (mol/l), se representa por M.

\* **Concentración másica** de una disolución es la masa de soluto por litro de disolución

$$\text{Concentración másica} = \frac{\text{masa de soluto}}{\text{litros de disolución}}$$

\* **Porcentaje en peso**: Es el número de gramos de soluto que hay por cada 100 gramos de disolución. Alguna vez se emplea también el porcentaje en volumen, pero si no se especifica nada se entiende que se refiere al porcentaje en peso.

b) *Basadas en el número de moléculas*

Las dos medidas principales de los números relativos de moléculas de soluto y disolvente son la **fracción molar** y la **molalidad**. Otra medida que se utiliza bastante es **las partes por millón** (ppm).

---

<sup>10</sup> Cuando se trata de compuestos iónicos, algunos autores utilizan **formularidad** o **formalidad**. Una disolución 1F (1 formal) es la que contiene un peso fórmula de soluto por cada litro de disolución. En las normas de la I.U.P.A.C. se recomienda no utilizar estos nombres e incluso emplear el término **concentración** como sinónimo de molaridad.

\* **Fracción molar:** es el número de moléculas de una cierta clase, expresada como una fracción del número de moléculas totales. Para moléculas de soluto en una disolución no electrolítica, la fracción molar es

$$X_{\text{soluta}} = \frac{n_{\text{soluta}}}{n_{\text{disolvente}} + n_{\text{soluta}}}$$

Es evidente que  $0 < X < 1$

De igual forma se obtendría la fracción molar de las moléculas del disolvente. Una relación útil entre ambas vendría expresada por:

$$X_{\text{disolvente}} + X_{\text{soluta}} = \frac{n_{\text{soluta}} + n_{\text{disolvente}}}{n_{\text{disolvente}} + n_{\text{soluta}}} = 1$$

\* **Molalidad:** es el número de moles de soluto por kilogramo de disolvente

$$\text{Molalidad} = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{kilogramo de disolvente}}$$

La unidad de molalidad se expresa por «m» y se lee «molal». Es un factor de conversión de la masa del disolvente en la muestra al número de moles en la misma:

Nº de moles de soluto = masa del disolvente x moles de soluto por kilogramo de disolvente = masa de disolvente x molalidad.

\* **Partes por millón:** (ppm) representa el número de partículas de soluto que existen en un millón de moléculas de disolución

## PROPIEDADES COLIGATIVAS DE LAS DISOLUCIONES

Existen en las disoluciones una serie de propiedades llamadas **coligativas** porque todas ellas dependen de la concentración de partículas del soluto y no de su naturaleza o su tamaño. Entre ellas podemos citar la presión de vapor, los puntos de fusión y ebullición y la presión osmótica.

Las leyes que rigen las relaciones entre estas propiedades y la concentración de la disolución sólo se cumplen exactamente en las disoluciones ideales, es decir, en aquellas disoluciones en la que las fuerzas intermoleculares soluto-soluto y disolvente-disolvente son del mismo orden<sup>11</sup>.

### 1. *Presión de vapor*

Experimentalmente se comprueba que, en todo disolvente que contenga algún cuerpo disuelto, la presión de vapor disminuye. La presión de vapor depende de la velocidad con que las moléculas del líquido escapan de la superficie. Ahora bien, si en ella existen moléculas del soluto no volátil, simplemente por el hecho de ocupar un lugar entre las moléculas del disolvente, estorban el escape de moléculas de éste, con lo que la evaporación se reduce.

Por otra parte, la disminución de la presión de vapor por acción del soluto repercute tanto en los puntos de fusión como de ebullición. En efecto, como la ebullición se origina cuando la presión de vapor del líquido es igual a la presión atmosférica, ocurrirá que cuando el disolvente, por ejemplo el agua, tenga algún cuerpo disuelto, al llegar a la temperatura de ebullición no tendrá una presión igual a la atmosférica y, por tanto, no hervirá, necesitando una mayor temperatura para que se produzca la ebullición. Por la misma causa, se produce un descenso en el punto de congelación.

Como consecuencia de ello, se produce un mayor intervalo de temperaturas en que el líquido puede existir, aumentando de un lado el punto de ebullición y disminuyendo por el otro extremo el punto de congelación. Esto fundamenta el hecho de que al añadir sal común al hielo, éste se funda aunque la temperatura continúe siendo por debajo de los 0° C. ¿Qué ocurre? Es lógico el proceso: la sal se disuelve en las primeras porciones de agua que aparecen cuando comienza la fusión del hielo y estamos ante una disolución saturada, por tanto, el hielo tiene una mayor presión de vapor que la disolución. Para que se produzca un equili-

---

<sup>11</sup> Es lógico que si existen iones en disolución las fuerzas intermoleculares soluto-soluto son más fuertes que las que se dan en el disolvente. Por ello, cuanto más diluida es la disolución más se acercará al comportamiento ideal.

brio entre ambas presiones el hielo tiende a fundirse. Tenemos ahora en juego otro factor que es un descenso de temperatura como consecuencia de la energía gastada para esete proceso de fusión (calor de fusión). Por otra parte, se disuelve más sal para que la disolución continúe saturada y el proceso se extiende hasta llegar al equilibrio. De esta manera se puede obtener una temperatura de equilibrio de  $-21^{\circ}$  C.

Hemos de resaltar que esta mezcla origina una mayor fusión del hielo, lo que es la causa de la utilización de la sal para favorecer el deshielo cuando se producen nevadas .

### LEYES DE RAOULT

Raoult, enunció, a finales del siglo XIX, las leyes que cuantifican el efecto de las concentraciones de las disoluciones y que se cumplen para disoluciones diluidas

**I) La disminución de la presión de vapor con respecto a la del disolvente puro es proporcional a la fracción molar del cuerpo disuelto.**

$$\Delta p = \frac{n}{n + N} P_0$$

$P_0$  = presión de vapor del disolvente puro

$n$  = nº de moléculas de soluto

$N$  = nº de moléculas de disolvente

**II) El aumento del punto de ebullición con respecto al del disolvente puro es proporcional a la concentración molar.**

$$\Delta T_c = Kn$$

$\Delta T_c$  es el aumento del punto de ebullición de un disolvente que en 1.000 gramos contiene  $n$  moles:

$$n = \frac{m \text{ gramos}}{P_{\text{molecular}}}$$

$$\Delta T_c = Kn = K \frac{m \text{ gramos}}{P_{\text{molecular}}} \quad (\text{I})$$

si se considera que hay  $p$  gramos de sustancia disuelta en  $P$  de disolvente:

$$\frac{P}{p} = \frac{1000}{m} \text{ sustituyendo en (I)}$$

$$\Delta T_c = Kn = K \frac{1000 p}{P.M} \quad (\text{I})$$

III) **El descenso del punto de congelación es proporcional a la molalidad.** El factor de proporcionalidad llamado *constante molal crioscópica*<sup>12</sup> es el descenso que sufre una disolución que tenga un mol por kilo de disolvente

$$\Delta T_c = K'n = k' \frac{1000 p}{P.M}$$

El descenso de la presión de vapor se utiliza para calcular pesos moleculares de solutos. De igual forma, las variaciones en los puntos de ebullición y congelación que se pueden establecer con mayor facilidad se han venido empleando para determinar los pesos moleculares de sustancias solubles en algunos disolventes como el agua. La técnica basada en el descenso del punto de congelación se llama **crioscopia**, y si se toma como referencia la elevación que se produce en el punto de ebullición, se denomina, **ebulloscopia**.

<sup>12</sup> Para el agua vale  $1,86^\circ \text{C}$ , es decir, que una disolución de agua que contenga un mol de cualquier sustancia por litro se congelará a  $-1,86^\circ \text{C}$ . hay que tener en cuenta que, por ejemplo, en una disolución acuosa el líquido no está en equilibrio con el agua sólida, debido a que es mayor la presión de vapor del hielo que la de la disolución. En cambio por debajo de  $0^\circ \text{C}$ , la presión de vapor del hielo disminuye mucho más rápidamente que la de la disolución, y es a  $-1,86^\circ \text{C}$  cuando, por llegar a igualarse, viene la congelación.

## LOS ELECTRÓLITOS

Un electrolito es una sustancia que produce iones en disolución, lo cual se pone de manifiesto por el hecho de que la disolución presenta conductividad eléctrica. El proceso por el que los iones pasan a la solución cuando un soluto se disuelve se conoce como **disociación**<sup>13</sup>.

El agua pura prácticamente no conduce la electricidad, pero al añadirle un soluto, pueden existir iones en la disolución, entonces el soluto es un electrólito. Se consideran, atendiendo a su estructura, dos tipos:

- Los **iónicos o verdaderos, formados por iones en estado puro**. La mayoría de las sales son de este tipo ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ) en los que ya existen iones en estado sólido.
- Los electrólitos **moleculares** también llamados electrólitos potenciados, formados por moléculas sin carga en estado puro, pero cuando se disuelven, partes de él reaccionan químicamente con el disolvente, dando iones ( $\text{HCl}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).

La disolución del  $\text{HCl}$  en agua es una verdadera reacción química, ya que se origina la rotura del enlace covalente, rotura además heterolítica, pues el  $\text{Cl}$  además de quedarse con su electrón del par, toma el del  $\text{H}$ , resultando dos iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{H}^+$ , este último se asocia al agua dando lugar a un ión hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ). Estos son los causantes de la acidez que presenta el cloruro de hidrógeno en disolución acuosa.

Los electrolitos se pueden clasificar, para un disolvente dado, como fuertes o débiles según que la disolución a concentraciones moderadas sea un buen o mal conductor de la electricidad. Para el caso del agua como disolvente, el  $\text{NaCl}$ ,  $\text{HCl}$  y  $\text{MgSO}_4$  son electrolitos fuertes, mientras el  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , serían débiles.

Hay que tener en cuenta que los iones de una disolución no se encuentran de la misma forma que los iones aislados. Si un compuesto iónico se disuelve es porque el disolvente es polar por lo que sus moléculas tienen un momento dipolar determinado. Cada ión de la sustancia disuelta se rodea de un cierto número de moléculas del disolvente. Este fenómeno se denomina solvatación y cuando el disolvente es el agua, se

---

<sup>13</sup> Se denomina también ionización. Según RUSSELL Y LARENA, la disociación implica un proceso de separación, mientras que la ionización destaca que se forman iones. Utilizaremos «disociación» para no confundir al estudiante que está más familiarizado con la ionización como proceso por el que un átomo o molécula pierde un electrón.

denomina hidratación. Puede observarse cómo los iones se rodean de una capa casi esférica de dipolos de agua, con el oxígeno orientado hacia el ión positivo y los hidrógenos hacia los negativos.

La hidratación de un ión se determina por la energía de hidratación del ión. Esta energía es la que se libera cuando los iones abandonan la fase gaseosa y entran al agua para hidratarse. Son siempre negativas y dependen del tamaño del ión y de su carga. La carga alta y el tamaño pequeño favorecen la interacción fuerte ión-dipolo.

Cuando los iones están en una disolución diluida al parecer están rodeados por dos o tres capas, casi concéntricas de moléculas de agua, pero las moléculas de agua de la capa más interna, la primera esfera de hidratación están más intensamente ligadas. El número de moléculas de esta esfera se denomina número de hidratación del ión.

Los compuestos iónicos, tanto fundidos como en disolución, conducen la electricidad, pero este paso va acompañado de una serie de procesos químicos, que originan su descomposición. Se les llama conductores de segunda especie o electrólitos. Este fenómeno de la conducción de la electricidad a través de los electrólitos se llama electrólisis.

La conductividad<sup>14</sup> de un electrólito depende del número de iones que contenga la disolución. Aumenta al disminuir la concentración. Experimentalmente puede determinarse por la intensidad de la corriente que la atraviesa. Al igual que en el caso de los metales, en las disoluciones de electrolitos, la resistencia al paso de la corriente, R, puede medirse por aplicación de la ley de Ohm. La resistencia, cuya unidad es el Ohmio, es directamente proporcional a la longitud del conductor e inversamente proporcional a su sección:

$$R = \rho \frac{l}{a} \text{ ohmios}$$

$\rho$  = "Resistencia específica".

Es la resistencia de un volumen de disolución de 1 cm de longitud, 1, y de 1 cm<sup>2</sup> de sección a.

---

<sup>14</sup> Puede ampliarse consultando: LEVINE, I. (1991): *Físico Química*, McGraw Hill. Madrid, pp. 575-592.

La inversa de la resistencia  $R$ , es la conductividad  $C$ , de la disolución:

$$C = \frac{\sigma}{1} \text{ ohmios}^{-1}$$

$\sigma$  es la *conductividad específica*; que es la inversa de  $\rho$  ( $\sigma = \rho^{-1}$ ); se expresa en  $\text{ohmios}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

La conductividad específica de una disolución será, por tanto, la inversa de la resistencia entre caras opuestas de un volumen de disolución igual a un cubo, de 1 cm de arista.

La *conductividad molar* viene dada por el producto de la conductividad específica, ó, por el volumen,  $V$ , en  $\text{cm}^3$ , que ocupa 1 mol de soluto en la disolución.

$$\Lambda = \sigma V \text{ ohmios}^{-1} \text{ cm}^2$$

Puede definirse como la conductividad del volumen de disolución, existente entre dos electrodos distantes 1 cm y de superficie suficientemente grande para que entre ellos exista 1 mol de soluto.

Si  $c$  es la *concentración molar* (moles por cada litro o 1000  $\text{cm}^3$  de disolución), se tiene que:  $V = 1000/c$ ; y sustituyendo en la expresión anterior:

$$\Lambda = \sigma \frac{1000}{c} \text{ ohmios}^{-1} \text{ cm}^2$$

Es posible, por tanto, calcular la conductividad molar,  $\Lambda$ , si se mide el valor de la conductividad específica:  $\sigma = \rho^{-1}$ , de disoluciones de concentración  $c$ , conocidas.

Los valores de  $\Lambda$ , para las disoluciones de ácido acético de diferentes concentraciones, se muestran en la siguiente tabla:

Conductividad molar (a 18°C en ohmios <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup> )		
Concentración molar	Conductividad CH <sub>3</sub> -COOH	Conductividad
10	0,05	64,4
1	1,32	301,0
0,1	4,60	351,0
0,01	14,30	370,0
diluc. ∞	352,00	383,9

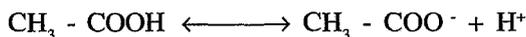
Se observa que la conductividad molar,  $\Lambda$ , de las disoluciones aumenta al disminuir la concentración (aumento de la dilución) de la disolución y tiende a un límite, que se obtiene por extrapolación de los datos experimentales a dilución infinita.

La conductividad se suele dar a 20°C y se puede corregir la conductividad (C.E.), a otra temperatura (t°C) por la expresión : C.E.(20°C) = C.E.(t°C) [1-0,02 (20-t)]. Las conductividades deben ir expresadas en micromhos/cm.; estas unidades corresponden a inversas de resistencia eléctrica, o sea, 1/ohmio = ohm<sup>-1</sup> = «moh» = siemens = S; por tanto, micromhos/cm es lo mismo que  $\mu\text{S/cm}$

Intervalo de Conductividad Específica a 20°C ( $\mu\text{S/cm}$ )	Salinidad (mg/l)
Cond. Espe. < 50	1,365 × C.E. (20°C)
50 - 166	0,948 × “
166 - 133	0,769 × “
333 - 833	0,716 × “
833 - 10.00	0,758 × “
10.000 < C.E.	0,850 × “

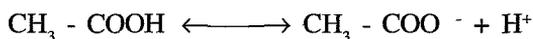
## TEORÍA DE LA DISOCIACIÓN DE ARRHENIUS

Arrhenius (1883) elaboró una teoría sobre la disociación electrolítica. Para él, en una disolución, las moléculas se encuentran en equilibrio con sus propios iones:

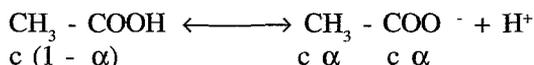


Según Arrhenius, cuanto mayor sea la dilución, mayor es el número de iones que produce una sustancia determinada. Para él, el **grado de disociación** expresa la proporción de moléculas disociadas en sus iones. Puede tomar valores de 1 a 0 (el 1 correspondería al NaCl y equivale a una disociación total, mientras el 0 indica una disociación nula, pertenecería a un no-electrólito). Este valor aumenta con el grado de dilución de la disolución.

En el equilibrio:



si hay  $\alpha$  moléculas disociadas, existirán también  $\alpha$  iones acetato e igual cantidad de iones hidrógeno y quedarán sin disociar  $1 - \alpha$  moléculas de ácido acético. Si consideramos que la concentración total es  $c$ , podríamos escribir:



Si se aplica la ley de acción de masas:

$$K = \frac{c^2 \alpha^2}{c(1 - \alpha)} = \frac{c \alpha^2}{(1 - \alpha)}$$

El número de iones aumenta con la dilución, ya que al estar éstos más alejados es menos probable que se reagrupen originando la molécula inicial. A dilución infinita, todas las moléculas están disociadas, y el número de iones es el máximo posible. Por tanto se puede calcular  $\alpha$  a partir de los datos de la conductividad:

$$\alpha = \frac{\Lambda}{\Lambda_0}$$

ya que  $\Lambda_0$  se obtiene cuando todos los iones están en disolución y  $\ddot{\text{E}}$  cuando solo está una parte de ellos. Por tanto, este cociente expresa la cantidad relativa de iones que existen en una disolución cualquiera, o lo que es lo mismo,  $\alpha$ .

Para los electrolitos débiles, el valor de  $\alpha$  es pequeño y cumplen prácticamente todos los puntos de esta teoría. Sin embargo, no ocurre lo mis-

mo con los electrolitos fuertes y se presentan una serie de hechos limitantes:

- 1) No es aplicable la ley de acción de masas, es decir, la constante de disociación no se mantiene como tal, nada más que para concentraciones muy pequeñas. De hecho, los valores aumentan con la dilución.
- 2) Los descensos en el punto de congelación y aumento en la temperatura de ebullición alcanzan valores inferiores a los calculados teóricamente, aún teniendo en cuenta que todos los iones están en la disolución.
- 3) La conductividad eléctrica aumenta al disminuir la concentración cuando debería teóricamente mantener valores constantes.

Todos estos inconvenientes fueron resueltos por Debye y Hückel proponiendo lo que se conoce como la teoría de los electrolitos fuertes de Debye y Hückel (1923). Consideraron que la ionización es total en este tipo de electrolitos, la densidad iónica es grande, pero los iones hidratados tienen entre sí tantas atracciones e interacciones que les quitan libertad de movimiento lo que hace que su actividad disminuya. La teoría supone que cada ión está rodeado en promedio por más iones de carga opuesta, «contraiones», que los de la misma carga, y que ese número cerca de un ión dado aumenta con la concentración. La presencia de esta atmósfera iónica difusa relativamente rica en contraiones restringe el movimiento de cada ión en la solución.

La existencia de esta atmósfera iónica puede comprobarse mediante medidas de conductividad eléctrica. Al aumentar la concentración aumenta la conductividad en un electrolito fuerte, sin embargo, al duplicar la concentración no se duplica la conductividad. Esto se explica suponiendo que a medida que los contraiones aumentan a concentraciones altas, este lastre producido sobre un ión por su atmósfera iónica se hace más intenso.

Esta teoría permite también calcular el efecto de la atmósfera iónica en las propiedades coligativas de estas disoluciones y lo justifica tanto cualitativa como cuantitativamente.

Cuando la concentración es pequeña, los iones están más alejados y cuando la dilución es infinita no se produce ninguna influencia y no se originan anomalías en su comportamiento.

Por ello, cuando se trate de electrolitos fuertes habrá necesidad de introducir un factor de corrección, llamado coeficiente de actividad.

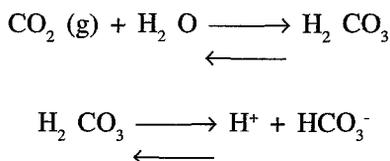
## PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA

### 1) DUREZA DEL AGUA

El agua es un buen disolvente de muchos compuestos, y el agua natural puede disolver a su paso por la tierra, cantidades importantes de minerales, esto origina que el agua natural contiene sales disueltas. Para comprobarlo, basta hervir agua en un calentador de aluminio, y observar cómo quedan las paredes y el fondo con una costra blanquecina como consecuencia de las sales que contiene. También cuando se añade jabón al agua para lavar, a veces, según los lugares geográficos, el agua no forma espuma con facilidad y con frecuencia aparecen unos grumos de jabón que permanecen insolubles.

Podemos decir que la dureza total de un agua depende de la proporción de sales cálcicas y magnésicas que contienen. Estas sales actúan sobre el jabón formando combinaciones insolubles.

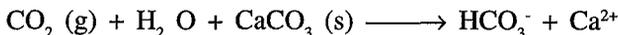
El agua de los manantiales generalmente es dura en las regiones calizas. Debido al dióxido de carbono de la atmósfera, el agua de lluvia puede considerarse como una solución diluida de ácido carbónico:



que disuelve lentamente la caliza, según la ecuación:



y el cambio total puede expresarse como:



El resultado es agua dura debida a la presencia de bicarbonatos. Este tipo de dureza se conoce como **dureza temporal**. Puede eliminarse por ebullición ya que se expulsa el dióxido de carbono y precipita el carbonato cálcico en las paredes y el fondo del recipiente.

Si se hierve agua y se reemplaza la evaporada por agua destilada, los bicarbonatos cálcicos y magnésicos se descomponen, precipitándose los correspondientes carbonatos. Si filtramos el agua, se encontrarán en ella las sales cálcicas y magnésicas que no se precipitan por ebullición. El grado hidrotimétrico de este agua filtrada constituye **la dureza permanente**. Esta dureza es producida por la presencia en el agua de sulfatos, cloruros, nitratos u otros iones que no precipitan por ebullición.

El grado de dureza o hidrotimétrico se refiere a los compuestos cálcicos que contiene. Se considera de diferente forma en los distintos países. Así por ejemplo:

un grado hidrotimétrico francés	<b>0.01 g de CaCO<sub>3</sub> por litro de agua</b>
un grado hidrotimétrico inglés	<b>0.01 g de CaCO<sub>3</sub> por 700 ml de agua</b>
un grado hidrotimétrico alemán	<b>0.01 g de OCa por litro de agua</b>

De estas definiciones pueden establecerse las relaciones entre los diferentes grados hidrotimétricos :

1 grado francés equivale a 0.56 grados alemanes.

1 grado alemán equivale a 1.79 grados franceses.

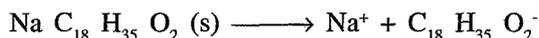
### Acción sobre los jabones

La acción química de los compuestos de calcio y magnesio sobre el jabón origina unos compuestos insolubles que forman las llamadas costuras en los calderos y en las ropas lavadas con aguas duras y no produce espuma con el jabón como indicabamos anteriormente.

Los jabones son sales de ácidos grasos, ácidos orgánicos con un número considerable de átomos de carbono formando largas cadenas de hidrocarburo. Un jabón típico es el estearato sódico NaC<sub>18</sub>H<sub>35</sub>O<sub>2</sub>. Los aniones tienen un grupo polar (denominado «cabeza o grupo hidrófilo») en uno de los extremos de un grupo apolar de cadena larga, la cadena de hidrocarburo. Los aniones A<sup>-</sup> disuelven su parte apolar hidrocabonada, y por tanto **hidrófoba** o repelente del agua, en una gota de grasa.

Su parte **hidrófila**, o afín al agua, permanece en la superficie de la gota de grasa, cubriéndola con una capa de grupos polares con enlaces de hidrógeno. La cabeza polar permite que la grasa se disuelva en agua y sea arrastrada en el aclarado.

El estearato sódico en presencia de los iones cálcicos se transforma en estearato de calcio. Los iones estearatos son los que producen la acción limpiadora en un jabón ya que el estearato sódico deja en libertad iones sodio e iones estearatos. El inconveniente está en que pueden ser precipitados por ciertos iones como los cálcicos, magnésicos, ferrosos, etc. dando lugar a un jabón insoluble:



Esto es perjudicial no sólo porque el jabón se malgasta en la reacción de precipitación, sino que además al ser insoluble, el jabón de calcio forma una especie de capa de nata en el agua jabonosa.

Existen otros detergentes que no contienen jabón; no se fabrican a partir de grasa y aceites como los jabones. Aun cuando hay de muchos tipos todos contienen moléculas constituidas por un grupo salino, soluble en agua, enlazado a una larga cadena de hidrocarburo. Una ventaja es que sus sales de calcio y de magnesio son solubles en agua y por tanto, no se producen grumos de consistencia grasienta cuando se utilizan con aguas duras.

Los modernos detergentes son mezclas de compuestos, el más importante de los cuales es el «agente de superficie» o «tensioactivo». Las moléculas de tensioactivo son moléculas orgánicas sintéticas que poseen un grupo hidrófilo y una cola hidrófoba. Los detergentes también contienen polifosfatos para absorber a los iones calcio y eliminar en parte la acidez. Otros aditivos suelen ser fluorescentes (absorben luz ultravioleta y emiten luz visible) para dar la impresión de mayor limpieza.

Podemos agruparlos en dos clases según su tipo de acción: suave e intensa. Los de acción suave tienen poca alcalinidad son muy eficaces para ropa poco manchada y constituida por tejidos finos así como teñidos. Pertenecen a este tipo casi todos los detergentes líquidos.

Los de acción intensa tienen una elevada proporción de fosfatos alcalinos que son capaces de eliminar las manchas de grasa de la colada.

## Determinación de la dureza del agua.

El grado de dureza se establece mediante una disolución de jabón de concentración específica. Se calcula el volumen de la misma necesario para formar una espuma persistente con una cantidad conocida de agua

La determinación de la dureza permanente se lleva a cabo por el «**Método de Boutron y Boudet**». Es el método francés y es el que normalmente se utiliza en España. (Ver Fichas de trabajo de los alumnos).

## Ablandamiento del agua

La eliminación de los iones que producen la dureza del agua puede hacerse por diferentes métodos, pero todos incluyen la precipitación de los mismos. Es el caso de la ebullición del agua con dureza temporal, pero no es un método práctico cuando las cantidades de agua son grandes, tanto por la formación de las costras que inutilizan rápidamente las calderas, como por el gasto energético adicional al disminuir la conductividad térmica de las mismas.

### I) *Tratamiento con carbonato sódico*

Este método adiciona una cantidad suficiente de cal apagada con objeto de remover la dureza temporal. De esta forma la solución se basifica al dejar iones OH<sup>-</sup> presentes y se transforman los bicarbonatos en carbonatos.

Al añadir un mol de hidróxido cálcico por mol de bicarbonato disuelto, se forma suficiente carbonato para precipitar no sólo el calcio disuelto que era el responsable de la dureza original del agua sino también los iones calcio procedentes de la cal apagada.

La dureza permanente residual puede removerse añadiendo carbonato sódico:



## 2) *Tratamiento con hexametáfosfato sódico*

Esta sal  $[\text{Na}_6 (\text{PO}_3)_6]$  forma otra compleja soluble con los compuestos de calcio y magnesio, como el  $\text{Na}_3 (\text{Ca}_2 \text{P}_6 \text{O}_{18})$

## 3) *Intercambio iónico*

Este fenómeno fue estudiado por Thomson y Spencer (1845) al observar el comportamiento del suelo al añadirle sulfato amónico. Esta sal es descompuesta por la tierra que absorbe el amonio y deja como residuo sulfato cálcico.

Estudiado este proceso resultó ser extensivo a otras muchas sales. Es de naturaleza química y los responsables parecen ser unos silicatos de aluminio llamados zeolitas que son productos naturales del suelo. Actualmente hay una serie de cambiadores iónicos artificiales entre los que se encuentran las permutitas ( $\text{AlNaSiO}_4$ ).

La primera aplicación práctica del cambio iónico fue encontrada por Gans (1905) en la descalcificación de las aguas duras. El procedimiento consiste en filtrar el agua a través de capas de permutitas o zeolitas. Como hemos dicho, éstas son silicatos complejos de aluminio y de sodio, que forman redes en las cuales los iones sodio están colocados en los huecos de la red. Su aspecto externo es parecido a los granos de arena. En este proceso se cambian los iones calcio del agua por los iones sodio del filtro con lo que el agua queda reblandecida. El proceso químico puede esquematizarse:



Al tiempo de usarse, el filtro se satura de iones, es decir, los huecos se llenan de iones calcio y cesa el intercambio iónico en el agua dura. Basta lavarlo con solución de cloruro sódico al 10% con lo que queda en condiciones de ser utilizado.

Actualmente la mayor parte de los intercambiadores iónicos que se usan son resinas sintéticas orgánicas, que operan igual que las zeolitas naturales, presentando mayor capacidad de intercambio aunque también son más caras.

Se han desarrollado, igualmente, resinas de intercambio catiónico que tienen como misión reemplazar todos los cationes metálicos en solución por

H<sup>+</sup> y resinas amónicas que reemplazarán todos los aniones, por OH<sup>-</sup>. De esta manera, pasando agua impura a través de una combinación de estas resinas, se obtiene agua de muy baja concentración iónica total. Ésta, llamada agua desionizada o desmineralizada es similar en propiedades al agua destilada, excepto que las impurezas moleculares no se han eliminado.

## **Influencia en los procesos industriales**

La industria utiliza mucha cantidad de agua para producir vapor con lo que se forman incrustaciones debido a los compuestos causantes de la dureza: los bicarbonatos originan carbonatos insolubles; los sulfatos se acumulan y cristalizan en las paredes de las calderas. Esto origina, por una parte, una reducción del tamaño útil de las tuberías y por otro, al disminuirse la conductividad térmica produce un sobre calentamiento de las superficies metálicas.

Puede influir también la dureza del agua en el éxito de los tintes ya que cuando es grande produce un desvanecimiento de los colores.

Como solución, se puede plantear el reducir la dureza del agua antes de introducirla en las calderas. Por otra parte, también se puede conseguir si se añaden sustancias, en cantidad suficiente, para hacer precipitar dentro de la caldera a los productos que originan incrustaciones, pero de forma que originen barros, fáciles de sacar de la misma.

## **2) ACIDEZ DEL AGUA**

La naturaleza ácida o básica de una solución viene expresada en función de la cantidad de iones hidrógeno [ H<sup>+</sup> ] (o bien, hidronio [ H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> ] ) o hidroxilos (OH<sup>-</sup>) que contenga. Según la teoría de Bronsted y Lowry que pretende explicar la definición de las sustancias ácidas o básicas, el agua sería una sustancia que se comportaría unaa veces como ácido y otras como base, es lo que se designa como anfótero o anfólito. Las reacciones entre ácidos y bases se denominan protolíticas porque en ellas se realiza una transferencia de protones del ácido a la base. Se puede considerar el proceso denominado **autoprotólisis del agua** (según Bronsted-Lowry, o **autoionización del agua**, según Arrhenius) en el que intervendrían dos moléculas de agua según la ecuación siguiente:



Si aplicamos la Ley de Acción de Masas:

$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]^2}$$

Si consideramos que la concentración del agua es prácticamente constante (55,5 mol/l) casi no se disocia podemos decir que  $k$  es muy pequeño ( $1,8 \times 10^{-16}$  a  $20^\circ \text{C}$ ) y puede despreciarse entonces:

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-] = 10^{-14}$$

El producto  $[\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-]$  se denomina **producto iónico del agua**. Si el agua es una sustancia neutra quiere decir que la concentración de ambos iones tiene que ser idéntica, por lo que se puede escribir que:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$$

Cuando  $[\text{H}_3\text{O}^+] > 10^{-7} \longrightarrow$  la sustancia es ácida  
 $[\text{OH}^-] < 10^{-7} \longrightarrow$  la sustancia es básica

Para expresar esta concentración se introduce el parámetro **pH** que equivale al logaritmo cambiado de signo de la concentración de iones hidrógeno:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

La escala de pH fue introducida por Sorensen en 1909, cuando trabajaba sobre el control de calidad de la elaboración de la cerveza

De forma similar el  $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$

Puede afirmarse entonces que

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

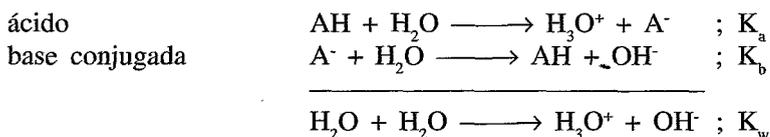
Es interesante reflexionar sobre el hecho de que ni  $[\text{OH}^-]$  y  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  pueden ser cero ya que entonces  $K_w$  sería 0. Esto significa que en diso-

luciones ácidas siempre hay presentes iones  $\text{OH}^-$ , aunque en pequeñísima cantidad, y lo mismo ocurre con los iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  en disoluciones básicas.

Igualmente, al disolver en agua pura un ácido, se origina una disolución ácida y ya no se cumple que las concentraciones de iones hidronios e hidroxonio sean idénticas ya que al aportar el ácido iones  $\text{H}_3\text{O}^+$ , aumentará la concentración de éstos y el equilibrio de disociación del agua se desplazará hacia la izquierda, como pronostica el principio de Le Chatelier. Ello significa que tienen que disminuir los iones  $\text{OH}^-$  para que  $K_w$  permanezca constante.

Esta influencia que ejercen los iones  $\text{H}_3\text{O}^+$ , es un caso particular del fenómeno denominado **efecto de ión común**. De forma análoga, si se disuelve una base, aumentará la proporción de los iones  $\text{OH}^-$  y disminuirán los otros.

La relación que existe entre la concentración de ambos iones en disolución acuosa liga también las constantes de acidez,  $K_a$  y la de basicidad  $K_b$ , de cualquier par de ácido-base conjugados. Si consideramos que las reacciones con agua de un ácido,  $\text{AH}$ , y de su base conjugada,  $\text{A}^-$ :



de las expresiones de  $K_a$  y  $K_b$ :

$$K_a = \frac{[\text{A}^-] [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{AH}]} \qquad K_b = \frac{[\text{AH}] [\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]}$$

de donde se deduce, multiplicando miembro a miembro y realizando las correspondientes simplificaciones que:

$$K_a \cdot K_b = K_w = 1 \cdot 10^{-14} \text{ (a } 25^\circ \text{C)}$$

Para conocer el valor del pH en un agua problema se puede recurrir:

\* A determinaciones electrométricas de los potenciales con ayuda de adecuados electrodos. Esto supone que exista un personal preparado y un mantenimiento de los pHmetros.

\* Por medidas colorfórmicas con indicadores de pH. Tienen un grado relativo de exactitud. Se aprovecha el cambio de color de ciertos colorantes en función del pH. Este cambio suele ocurrir en un margen aproximado de dos unidades de pH. Suele hacerse con «papeles indicadores» o bien realizando medidas con soluciones indicadores. Los primeros son muy fáciles de utilizar y el cambio de color del papel nos muestra si la solución es ácida o básica. Podemos citar los papeles de tornasol, o los papeles indicadores universales que cubren el espectro de valores de pH entre 0 y 14.

PAPEL INDICADOR	CAMBIO COLOR	CAMBIO pH
Papel amarillo brillante	amarillo a rojo	6,7 a 7,9
Papel Congo MN816N	rojo a azul	5,0 a 3,0
Papel azul tornasol	azul a rojo	8,0 a 5,0
Papel tornasol neutro	rojo a violeta a azul	5,0 a 8,0
Papel tornasol rojo	rojo a azul	5,0 a 8,0
Papel amarillo nitrazina	amarillo a violeta azul	6,0 a 7,0
Papel fenolftaleina	blanco a rojo	3 a 10,0

Actualmente existen equipos de medición del pH mediante sondas transitorizadas no compuestas de vidrio cuyo transporte resulta cómodo y da una información instantánea. Igualmente podemos citar el pHmetro digital que efectúa rápidamente una determinación exacta del pH.

### 3) ELECTROLISIS DEL AGUA

En las pilas galvánicas, la energía química de una reacción redox espontánea origina una corriente eléctrica, pues bien, la electrolisis es el empleo de una corriente eléctrica para producir una reacción química. El voltaje aplicado debe superar al potencial de pila en una cantidad igual al sobrepotencial.

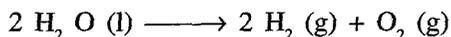
Los electrolitos disueltos o fundidos conducen la corriente eléctrica. Esta conducción la realizan los iones positivos y negativos, pero además va unida a algún cambio químico, que se produce en los electrodos.

En una celda de electrolisis existe siempre un único electrolito y los dos electrodos denominados ánodo y cátodo<sup>15</sup> comparten el mismo baño,

<sup>15</sup> Los términos ánodo y cátodo no se refieren a la polaridad positiva o negativa, sino al proceso redox que ocurren en ellos: en el ánodo una oxidación y en el cátodo una reducción.

las presiones de gas raramente son de 1 atmósfera y las concentraciones de iones son muy diferentes de 1M.

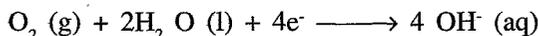
La idea general de la electrolisis es el uso de la corriente eléctrica para impulsar una reacción redox en dirección no espontánea, mediante el paso de una corriente eléctrica a través de un electrolito. Esto puede lograrse si se conectan los electrodos de la celda de electrolisis a un suministro de potencial superior al de la celda de electrolisis si estuviera produciendo electricidad trabajando como pila. Entonces la corriente se fuerza a fluir en dirección opuesta a la espontánea y la reacción de la celda se produce al revés. La reacción de electrolisis:



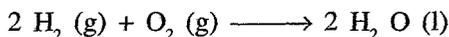
Esta reacción es la opuesta a la reacción de la pila  $\text{Pt} | \text{H}_2 (\text{g}) | \text{OH}^- (\text{aq}) | \text{O}_2 (\text{g}) | \text{Pt}$  que produce alrededor de 1,23 V a 25 °C, donde se produce una semirreacción anódica que puede considerarse como una oxidación de hidrógeno:



y la semirreacción catódica que es una reducción de oxígeno

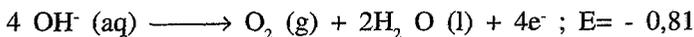
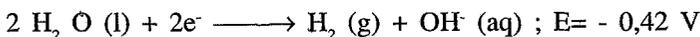


Y la reacción global será:



Lo que viene a decir que la reacción de pila es la formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno.

Para invertir esta reacción de pila debemos suministrar al menos 1,23V a la celda de electrolisis, con el terminal negativo de la fuente externa conectado al electrodo de hidrógeno, con objeto de que el agua se reduzca a hidrógeno. El voltaje necesario vendrá determinando en función de los potenciales necesarios para los dos electrodos. En el agua neutra (pH=7), las dos semireacciones son:



Lo que quiere decir que tenemos que suministrar al menos 1,23V desde una fuente exterior para que se pueda producir hidrógeno (0,42V) y oxígeno (0,81V).

Prácticamente se logra una formación considerable de producto sólo con aplicar un potencial significativamente superior al potencial de pila. Este potencial adicional se llama **sobrepotencial**. En nuestro caso y si se emplean electrodos de platino viene a ser sobre 0,6 V. Para la deposición de metales suele ser mucho más pequeño.

Sin embargo, esto no es tan fácil ya que si existen iones en el agua que está siendo electrolizada, puede ocurrir que sean ellos y no el agua los que se reduzcan en el cátodo. Esto ocurre con los iones cobre. Por esto, este procedimiento es uno de los utilizados para refinar el cobre.

Es interesante considerar que el potencial de reducción para el agua neutra (- 0,42V), sirve como línea divisoria entre los pares que pueden reducirse electrolíticamente en solución acuosa y los que no pueden.

Por otra parte, es posible que en el ánodo se oxiden iones presentes en el agua, es el caso de los iones cloro.

## LEYES DE FARADAY

Las leyes de Faraday, enunciadas en 1834, han tenido una enorme importancia para el desarrollo de la Física y la Química. Estas leyes establecieron la relación existente entre la cantidad de electricidad que pasa por una celda electrolítica y la de productos liberados en los electrodos.

**Primera ley:** *La masa de una sustancia liberada es directamente proporcional a la cantidad de electricidad, o bien, a la intensidad de la corriente y al tiempo que circula.*

**Segunda ley:** *Las masas de diferentes sustancias, liberadas por la misma cantidad de electricidad, son directamente proporcionales a los equivalentes de las mismas.*

La cantidad de electricidad necesaria para liberar un equivalente de cualquier sustancia se ha determinado experimentalmente, resultando ser **96.487 C/mol**, se denomina **constante de Faraday, F**. Para operar, normalmente puede utilizarse por aproximación un valor de 96.500 culom-

bios/mol. Estos cálculos pueden comprobarse considerando que para liberar en un electrodo un equivalente-gramo<sup>2</sup> de un metal se necesitará un mol de electrones:

$$F = N_A \cdot e = 6,02 \cdot 10^{23} \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 96,487 \text{ C/mol}$$

Estas leyes se aplicaron primero a los fenómenos de electrolisis, pero es lógico que puede hacerse también a la corriente producida por una pila, puesto que es igual el mecanismo, pero inverso

### **Demostración experimental usando retroproyector**

Para la introducción al estudio de las reacciones químicas producidas por la corriente eléctrica, y como ejemplo de procesos de oxidación-reducción así como base para el posterior estudio del funcionamiento de una celda electroquímica (conversión de energía química en corriente eléctrica) puede el profesor llevar a cabo una demostración experimental utilizando el retroproyector. Esto facilitará la observación del proceso por todos los alumnos simultáneamente, así como favorecerá la discusión posterior. Hemos de resaltar que empleando el material adecuado, este tipo de experiencias son muy fructíferas y deben usarse siempre que la reacción sea peligrosa o requiera una preparación previa laboriosa cuando haya poco material para ser empleado por los alumnos. Asimismo, al emplear indicadores para poner de manifiesto los cambios que tienen lugar en los electrodos serviría para estudiar o profundizar en su mecanismo de acción y resaltar la utilidad de su empleo.

Es preciso, por otra parte, centrar el interés del alumno en este tema; para ello será necesario presentar tanto las aplicaciones técnicas como la utilidad social de la electrólisis. Para lograrlo, se podría iniciar una discusión sobre la importancia de la electrodeposición de metales para proteger los metales de la corrosión, protección de aceros, recubrimiento de metales con metales costosos, oro o plata, obtención de determinados elementos a nivel industrial a partir de sus compuestos, cloro, hidrógeno y oxígeno muy puros, etc...

A continuación se presenta una ficha de trabajo que puede facilitarse al alumno para que la cumpla una vez que la experiencia se ha desarrollado por el profesor:

---

<sup>16</sup> mol/ número de cargas positivas del ión.

## ¿CÓMO PUEDE LA CORRIENTE ELÉCTRICA PRODUCIR UNA REACCIÓN QUÍMICA?: EXPERIMENTEMOS LA ELECTRÓLISIS

### Procedimiento

- El profesor ha depositado unos cristales de yoduro de potasio en el agua contenida en un cristizador; además ha adicionado una sustancia, en cantidad mínima, que tiene la propiedad de cambiar de color según la acidez o basicidad del medio.
- Dos lápices afilados por ambos lados se conectan por la punta de grafito, respectivamente, mediante un hilo conductor de cobre a los bornes de una pila.
- Se colocan estos lápices, manteniéndolos separados mediante un soporte, en contacto con la disolución (punta de grafito).

### Observación y cuestiones dctoras

- Realice un dibujo en el que represente los distintos elementos del montaje experimental que ha realizado el profesor y sus denominaciones.
- Represente simbólicamente lo que ocurre cuando esta sal se disuelve en agua.
- ¿Se han producido especies iónicas como consecuencia de la disolución? Si así fuera represente los símbolos de la totalidad de las especies iónicas presentes.
- Una vez que se ha conectado la pila y se establece el paso de la corriente ¿Qué cree que puede ocurrir? Haga un diagrama en el que represente el movimiento de las especies cargadas en el seno de la disolución. ¿Qué nombre le daría a cada uno de los electrodos?
- Observe el fenómeno que se produce cuando el profesor conecta la pila. Anote en el esquema que ha dibujado todos los cambios que ocurran para hacer posteriormente una interpretación de los mismos:
  - ¿Cuál es la función de la pila? Descríbala.
  - ¿Observa la aparición de color? ¿Dónde?
  - ¿Hay desprendimiento de gases?
- ¿Describa los fenómenos que pueden ocurrir en cada uno de los electrodos? Represéntelos.
- Compare sus descripciones e interpretaciones con las que figuran en la bibliografía.
- ¿Cómo se denominan las sustancias que cambian de color según la acidez o basicidad del medio?
- Explique la aparición de colores. Para ello consulte en la bibliografía recomendada el mecanismo de actuación de dichas sustancias. Prepare un listado en el que incluya al menos seis de ellas y en el que figuren sus características y sus posibles cambios de color.
- Intente predecir cual fue la que adicionó el profesor.
- ¿Qué aplicaciones conoce de este fenómeno? Infórmese sobre su importancia y utilidad para la vida diaria.

# CONTAMINACIÓN DEL AGUA

## CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua se logra impidiendo los vertidos que la puedan contaminar así como estableciendo unas normas mínimas de calidad según el uso a que vaya a destinarse.

Una Directiva del Consejo (junio, 1976), trataba de impedir la contaminación con productos tóxicos, persistentes o bioacumulables que amenazan tanto al medio ambiente como a la salud.

Por otra parte, la Ley de Aguas en su artículo 89 establece una serie de prohibiciones tales como efectuara vertidos directos o indirectos que contaminen el agua; acumular residuos sólidos, escombros o sustancias cualquiera que sea su naturaleza y el lugar en que se depositen, que constituyan un peligro de contaminación de las aguas o degradación del entorno; efectuar acciones sobre el medio físico o biológico afecto al agua, que formen o logren crear una degradación del mismo. Los anexos del R.D.927/88 de 29 de julio, fijan los distintos criterios de calidad para las aguas según sea el destino que se les vaya a dar.

## EL AGUA POTABLE

Se define como tal a la que se puede beber sin riesgo de ninguna clase para la salud. Debe ser inodora, incolora y límpida. Hay que diferenciar claramente la calidad del agua con su potabilidad, ya que pueden no representar problema alguna para la salud pero ser imbebible por su mala calidad.

Mediante análisis se puede comprobar su idoneidad para el consumo. El R.D. antes citado de 29 de julio, se remite a la normativa comunitaria (Directivas 75/440/CEE; 80/68/CEE y 80/778/CEE) y a sus propios anexos para establecer las características del agua potable. Los métodos de análisis y la frecuencia de los muestreos quedaron establecidos por Órdenes de 8 de febrero, 11 de mayo y 16 de diciembre de 1988. Igualmente, la Reglamentación Técnico Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potable para consumo público se establecieron en el R.D. 1138 de 1990.

## LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Mientras la cantidad de impurezas en el agua no sea excesiva, su purificación se lleva a cabo de modo natural mediante el ciclo del agua y por la acción de los microorganismos.

Los gases disueltos y las impurezas volátiles son expulsadas por el aire que se mezcla con el agua a medida que circula por los lechos poco profundos de los ríos. Los sólidos sedimentan en los lugares tranquilos y se filtran a medida que el agua fluye a través del suelo. Por otra parte, el agua que tiene una gran concentración de iones se diluye cuando se mezcla con grandes masas de agua.

La descomposición de la materia orgánica por las bacterias en presencia de oxígeno se llama **descomposición aeróbica**, de forma que mientras que existe suficiente cantidad de oxígeno disponible para descomponer la materia orgánica presente, los microorganismos pueden mantener una masa de agua limpia y brillante.

Si se reduce el suministro de oxígeno o la cantidad de materia orgánica aumenta demasiado, se originan cambios radicales en el proceso: las bacterias que dependen del oxígeno, mueren y proliferan las bacterias anaeróbicas. En una masa de estas características son visibles burbujas de gas y en el aire hay un olor a «huevos podridos» característico del sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), combinado algunas veces con el olor de la fosfina ( $PH_3$ ), que es igual de desagradable y malsano. El agua parece negra y aparece llena de cieno. Como es de esperar tanto los peces como los otros habitantes de los estanques o lagos que se han vuelto anaeróbicos, no pueden sobrevivir.

Los contaminantes del agua pueden agruparse en tres categorías:

\* A) Sustancias que dañan a los seres humanos o a los animales por causarles enfermedad o daño físico.

Hasta hace poco los únicos contaminantes peligrosos en el agua eran las bacterias y los virus que causaban enfermedades transmitidas por el agua como el cólera o el tifus. Este peligro ha desaparecido en los países civilizados por la cloración del agua de abasto. Sin embargo, en las aguas residuales siempre abundan agentes patógenos.

En los últimos años, se han conocido una serie de polucionantes tóxicos o peligrosos, entre los que podemos citar a los herbicidas, pesticidas e insecticidas. Otros son los iones de metales pesados que son más peli-

grosos y cuya difusión es mayor de la que se había creído inicialmente. Igualmente, debemos mencionar a los residuos radiactivos procedentes generalmente de los reactores nucleares.

\* B) Sustancias o situaciones que disminuyen el contenido de oxígeno del agua, lo que conduce a la descomposición anaeróbica y a la muerte de la vida acuática.

El resultado de la acción de estos contaminantes se percibe también por todos los efectos desagradables que llevan consigo: malos olores, aspecto poco atractivo, muerte de peces, etc.

El principal polucionante de esta clase es el hombre con todos sus desechos. Los orgánicos también proceden de la industria del papel, industrias químicas, mataderos, fertilizantes de las plantas, detergentes, etc.

También hay que considerar el caso de los microorganismos naturales que pueden también ser contaminantes de esta clase cuando están en cantidades excesivas.

Finalmente podemos incluir en esta clasificación al aumento de temperatura que se produce en el agua de algunos ríos o mares como consecuencia de la actividad industrial y que afecta la vida de ese ecosistema considerablemente produciendo muchas veces la muerte de determinadas especies.

\* C) Sustancias que son peligrosas indirectamente por no hacer agradable el uso del agua o por destruir la belleza natural y la salubridad de los lagos, ríos u océanos. Entre ellos incluiremos a materiales que hacen cambiar el color, el olor o el sabor del agua; el petróleo; la existencia de sedimentos variados o la concentración elevada de sales disueltas.

## LA CONTAMINACIÓN DEL MAR

Desde siempre el mar ha sido considerado como un vertedero natural. El mar posee una gran capacidad autodepuradora. Es por otro lado un medio poco favorable para desarrollar microorganismos patógenos. No obstante, el vertido incontrolado de las aguas residuales provenientes de zonas urbanas e industriales convierten las aguas costeras en un medio muy favorable para la supervivencia de bacterias patógenas.

Estos microorganismos no son en general un peligro para las personas que se bañan en las playas —salvo en los casos de fuerte polución fecal—; sin embargo, suponen un peligro para los que se alimentan de los moluscos que viven en las zonas costeras. De un lado, la abundancia de materia orgánica favorece el crecimiento de los moluscos en esas zonas, pero de otra retienen numerosos microorganismos productores de enfermedades en el hombre. Ahí podemos encontrar la razón de tan frecuentes casos de «salmonelosis» y otras enfermedades producidas por los mejillones, almejas, etc.

La contaminación química puede ser mucho más peligrosa para el hombre y la fauna marina que la bacteriana:

- Los detergentes y pesticidas arrastrados por los ríos tienen efectos nocivos sobre aves y animales costeros.
- Los residuos industriales pueden tener efectos catastróficos sobre las zonas costeras. Las sustancias químicas disueltas en el agua favorecen el crecimiento de algas que en gran cantidad perjudican a otras especies vegetales y animales pues absorben todo el oxígeno.
- Las centrales de energía nuclear producen residuos radiactivos que conservan durante mucho tiempo su peligrosidad. Para hacerlos desaparecer se envasan en recipientes especiales y se depositan en el fondo del mar.
- La forma de contaminación más extendida seguramente la constituye el petróleo, del que se transportan anualmente millones de toneladas. El petróleo se escapa de los buques que sufren algún accidente, o el que se derrama al lavar los depósitos, forma las mareas negras que causan terribles efectos en los peces y aves marinas.

Citaremos dos ejemplos significativos:

1) En Japón (Bahía de Minamata) debido a un derivado del mercurio existente en las aguas residuales de una fábrica que las vertía al mar sin depurarlas previamente, se produjo una intoxicación por consumo de

crustáceos, moluscos y peces provenientes de la zona afectada. La mayoría de los intoxicados murieron a los pocos días víctimas de lesiones cerebrales. La contaminación mercurial había recorrido toda la cadena marina: **fitoplancton** (plancton vegetal o conjunto de vegetales del plancton) ; **zooplancton** (plancton animal o conjunto de organismos animales del plancton); **moluscos, crustáceos, peces**, que sirven de alimentación al hombre.

2) En un estudio realizado en el Instituto Nacional de Toxicología de Sevilla (dentro de una Tesis Doctoral, 1990), se analizó el contenido de mercurio en el pez espada. Fue elegido este pez porque en Andalucía es una especie muy apreciada, de consumo frecuente y porque al ser un animal carnívoro acumulador de metilmercurio, es considerado de forma especial en las distintas legislaciones.

En el muestreo realizado, el valor medio del mercurio total obtenido fue de 1,69+ 0,90 miligramos por kilo, concentración que se encuentra por encima del valor máximo permitido en peces por la legislación española. El rango de concentración osciló entre 0,38 - 3,28 mg/kg, valor que se encuentra dentro de los máximos referidos en el Código alimentario, aunque está por encima del intervalo medio. La conclusión es una recomendación para que no se consuma con una frecuencia superior a una vez por semana

## CONTAMINANTES SECUNDARIOS:

### El proceso de contaminación por lluvia ácida

La expresión **lluvia ácida** fue usada por primera vez por *R. A. Smith (1872)* para describir el aire contaminado de Manchester, que deterioraba la vegetación, decoloraba los tejidos y corroía los metales.

Las medidas del pH de las precipitaciones (lluvia y nieve) en los últimos años, muestran que ha cambiado en muchas partes del hemisferio norte, de ser casi neutro, al correspondiente a una disolución diluida de los ácidos sulfúrico o nítrico. Los investigadores que han estudiado glaciares o placas de hielo en los continentes han concluido, que si bien hace 200 años las precipitaciones tenían un pH entre 6 y 7.6 , ahora lo común es que lo tengan entre 4 y 4.5 . En casos aislados las lluvias han

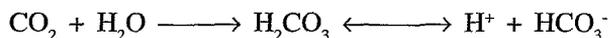
arrojado valores más ácidos, como en Pitlochry (Escocia), en 1974, con un valor de 2.4.

Oden (1968, 1971) analizó los datos recogidos en 160 lugares de la Red Química Europea del Aire de 1956 a 1966. Demostró que la precipitación se había hecho cada vez más ácida en algunos lugares de Europa:

- \* A finales de los 50 los Países Bajos (Bélgica, Luxemburgo y Holanda) experimentaron precipitaciones con un pH de 4 a 4,5.
- \* A mediados de los 60, se extendió a Alemania, norte de Francia, este de Inglaterra y sur de Escandinavia

Estos descubrimientos fueron tomados en consideración en la Conferencia de la ONU sobre el Medio Ambiente Humano en Estocolmo (1972, Engstrom).

En condiciones de no contaminación, el agua es ligeramente ácida, debido a la disolución del ácido carbónico, formado al disolverse el dióxido de carbono:



El pH de esta reacción suele ser de 5.6 pero diferentes materiales, presente en la atmósfera, se pueden incorporar a la lluvia o la nieve alterando el pH. Por ejemplo, los vientos arrojan a la atmósfera partículas de tierra que pueden contener cationes calcio o magnesio o aniones carbonatos. La incorporación de partículas sólidas a las gotas de lluvia y la eliminación subsiguiente de estos iones en solución, tiende a elevar los valores del pH.

Igualmente, la absorción de amoníaco, liberado en la descomposición de la materia orgánica, eleva el pH.

Sin embargo, la presencia de óxidos de nitrógeno y azufre liberados poco a poco en la atmósfera por los ciclos naturales del nitrógeno y del azufre, tienen a bajar el pH.

La creciente acidez en las precipitaciones de los últimos años se ha atribuido a los combustibles fósiles, pues tanto el carbón como la gasolina liberan grandes cantidades de óxidos de azufre y nitrógeno en su combustión. Otros procesos que contribuyen a aumentar estos niveles son el refinado del petróleo y la fusión de los metales. Por ejemplo, el fun-

didor de cobre / níquel de Sadbury, en Ontario, se estima que viene a suponer el 1 % del total mundial de las emisiones de azufre atmosférico de entre todas las fuentes.

### NIVELES DE EMISIÓN DE AZUFRE Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO PROCEDENTES DE VARIOS TIPOS DE ESTACIONES ELÉCTRICAS

(Datos en Tm)

Fuel consumido en estaciones eléctricas	Azufre	NO <sub>x</sub>
Petróleo	44.000	29.000
Gas	200	23.000
Carbón	93.000	58.000

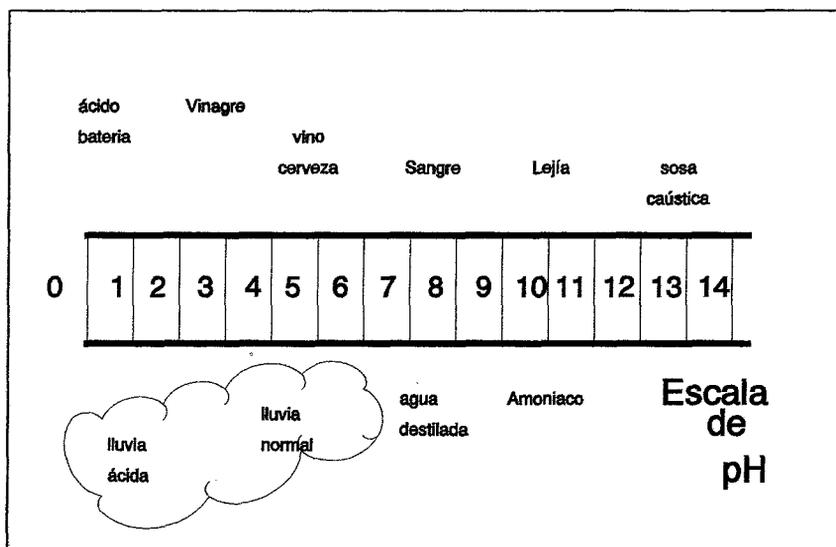
### FUENTES DEL AZUFRE ATMOSFÉRICO

Fuente	Contribución anual estimada 10 <sup>6</sup> Tm/año	Contribución anual estimada 10 <sup>6</sup> Tm/año
Erupción de volcanes	1 - 2 (SO <sub>2</sub> )	0.5 - 1 (S)
Evaporación marina	13 (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	4.5 (S)
Descomposición biológica de la materia orgánica	100 (H <sub>2</sub> S)	95 (S)
1. Masas de tierra	30 - 200 (H <sub>2</sub> S)	
2. Océanos	60 - 400 (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S]	31- 206 (S)
Antropogénica	150 SO <sub>2</sub>	75 S

En resumen, la lluvia ácida es una consecuencia de la incorporación de sustancias ácidas al agua de lluvia. Esta lluvia nociva para la naturaleza y el hombre se forma debido a la contaminación atmosférica por óxidos de nitrógeno y azufre fundamentalmente, dando lugar a los ácidos nítrico y sulfúrico que aumentan la acidez de las precipitaciones tanto de la lluvia como la nieve ácida.

## El ciclo del azufre

La emisión a la atmósfera de compuestos de azufre es el fruto de la actividad humana. Las emisiones naturales son de menor rango que las antropogénicas pero de todas formas los compuestos de azufre están presentes en cierto grado en la naturaleza en una atmósfera no contaminada. Su origen es muy variado: metabolismo bacteriano de la materia orgánica, de los gases volcánicos, incendios forestales, combustión de petróleo, procesos industriales...



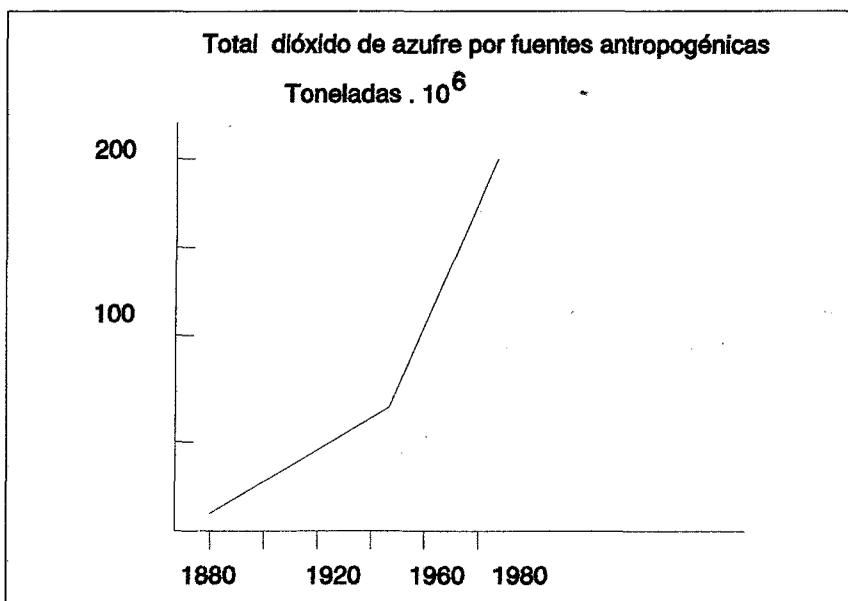
El azufre se encuentra en estado gaseoso en la atmósfera en forma de sulfuro de hidrógeno y óxidos de azufre, pero el depósito principal es en forma de sulfato soluble en los océanos.

El azufre lo toman las plantas en forma de ión sulfato y de los compuestos orgánicos durante su degradación, en forma de sulfuro de hidrógeno. Por ejemplo, las bacterias reductoras del sulfato lo utilizan como un aceptor de electrones terminal en los procesos que producen ATP. El producto final es el  $H_2S$ .

Se incorpora a la atmósfera, como dióxido de azufre procedente de la combustión de los combustibles fósiles y en forma de sulfatos fina-

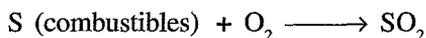
mente divididos procedentes de las aguas marinas. Cierta cantidad de sulfato, que procede de los minerales, se disuelve y es arrastrado por las aguas. Estos iones aparecen como sulfato sódico en forma de aerosol (partículas sólidas o líquidas en suspensión gaseosa) o suspensión de ácido sulfúrico. Los compuestos de azufre, especialmente el dióxido de azufre, se encuentran entre los más indeseables y perjudiciales de los gases contaminantes. Se estima que anualmente se liberan entre 160 y 480 toneladas de azufre de fuentes naturales mientras que de fuentes antropogénicas alrededor de 75 millones de toneladas. Las medidas del dióxido de azufre atmosférico sobre el Océano Atlántico indican que las concentraciones más altas se encuentran a una latitud de 40° N mientras que en el Ecuador se aproximan a cero. Esto se ha atribuido a las altas concentraciones de industrias entre las altitudes 40° N y 60°N en Europa y 50° N y 35 °N en Norteamérica<sup>17</sup>.

La tabla siguiente expresa el crecimiento cronológico de la emisión de dióxido de azufre en la atmósfera desde 1880 a 1980.

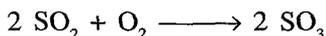


<sup>17</sup> Datos tomados de SEHARNES, S. (1987): «The Chemistry of Acid Precipitation» *Education in Chemistry*, september.

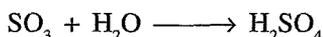
El dióxido de azufre, es un contaminante primario que se produce normalmente por la combustión de compuestos que contienen azufre. Se forman cuando se queman carbón y petróleo que lo contenga.



Aunque el dióxido de azufre es el compuesto que contamina normalmente el aire, también se produce el trióxido en algunos procesos industriales, y se forma igualmente en la atmósfera, por diferentes vías, en pequeñas cantidades debido a la reacción entre el dióxido y el oxígeno, que es catalizada por algunas macropartículas del aire, de hecho, es probable que el principal agente nocivo sea precisamente el trióxido:



Cuando en el aire hay vapor de agua y aerosoles de agua (niebla y rocío), el trióxido de azufre reacciona para formar ácido sulfúrico:



Este ácido constituye un poderoso contaminante secundario del aire. Puede sufrir otra serie de reacciones con otros componentes atmosféricos, por ejemplo, puede reaccionar con el amoníaco para originar sulfato amónico; en las proximidades del mar puede igualmente unirse con el cloruro sódico para dar lugar al ácido clorhídrico. Todos estos compuestos una vez formados pueden ser arrastrados por la lluvia y arrojados fuera de la atmósfera.

El dióxido de azufre es considerado el más perjudicial para la salud entre todos los contaminantes. A continuación se muestra la legislación española vigente sobre procedimientos de determinación y valores máximos para la cantidad de dióxido de azufre y partículas en suspensión.

Los óxidos de azufre del aire pueden inhibir el crecimiento de las plantas y ser letales para algunas. Las plantas pueden ser afectadas cuando los niveles de dióxidos sobrepasan de 0.3 - 0.5 partes por millón; pero varias especies vegetales tienen diferentes respuestas al envenenamiento con dióxido de azufre.

Los principales efectos nocivos en los seres humanos son superiores a los que producen en las plantas. Se piensa que se necesitan exposicio-

nes muy prolongadas a concentraciones superiores a una parte por millón antes de que cualquier efecto pueda ser evidente.

Efectos en los seres humanos <sup>18</sup>	Concentración ppm
Causa broncoconstricción	1-6
Concentración mínima para olor detectable	3-5
Principia la irritación de garganta	8-12
Principia la irritación en los ojos y tos	20
Máxima concentración para una exposición corta (30 minutos)	50-100
Puede ser mortal incluso en exposición breve	400-500

No obstante, no existen pruebas definitivas de que el dióxido de azufre provoque enfermedades respiratorias, pero se ha encontrado una correlación específica entre la incidencia de óxidos de azufre en la atmósfera y el índice de muertes. De hecho, durante las «neblinas mortales» de Londres, aumentó la mortalidad entre los ancianos y enfermos y las principales causas fueron, bronquitis, bronconeumonía y enfermedades cardíacas.

Finalmente, también producen efectos de corrosión sobre los metales, pinturas, piedra, etc.

## LA GENERACIÓN QUÍMICA DE LA LLUVIA ÁCIDA

Los ácidos sulfúrico y nítrico se forman a partir de la oxidación de los correspondientes óxidos

**El ácido sulfúrico se origina** bien en en fase acuosa o en fase gaseosa. El proceso así como la importancia de ambas fases es diferente y los tratamos a continuación:

### 1) Fase gaseosa, que ocurre normalmente:

- Por reacción con los radicales **OH**, o bien por oxidantes presentes como el  $\text{HO}_2$  o  $\text{CH}_3\text{O}_2$ , que pueden transformar el dióxido de azufre a ácido sulfúrico. Hemos de considerar que los radicales  $\text{HO}_2$  se generan en la troposfera por la oxidación a causa del oxígeno atómico del formaldehído (HCHO) o de hidrógeno atmosférico. Por otra parte, los radicales  $\text{CH}_3\text{O}_2$  se forman durante el proceso de oxidación del metano y de otros hidrocarburos existentes en la atmósfera.

<sup>18</sup> Adaptado de «Physiological Effects of Sulfur Dioxide Gas». En DICKSON, T. R. (1980): *Química. Enfoque ecológico*. Limusa. México, p. 177.

- Por reacción con el ozono troposférico. Se dan dos etapas: La primera consiste en la oxidación del dióxido de azufre a trióxido:



inmediatamente se combina con el vapor de agua para dar el ácido.



La velocidad de oxidación en fase gaseosa es de un 3 a un 4 % del dióxido de azufre presente en la atmósfera por hora.

2) **Fase acuosa**, en las pequeñas gotas de agua que forman la nube. Al ser muy soluble en agua el dióxido esta transformación es mucho más importante que en fase gaseosa.

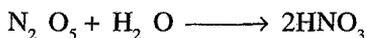
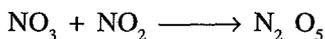
- Uno de los oxidantes posibles es el agua oxigenada, que transforma el ácido sulfuroso, que es lo que se forma al disolverse el dióxido en agua en ácido sulfúrico. Sin embargo al existir poca cantidad de agua oxigenada en la troposfera (0,001 ppm) esta segunda reacción es muy limitada. El agua oxigenada se forma por la reacción de dos radicales HO<sub>2</sub> o bien por formación fotocatalítica de agua directamente o a través de radicales OH.

- Por la acción de determinados iones metálicos como hierro y manganeso.

- Por reacciones fotocatalíticas de determinados óxidos semiconductor en forma de partículas sólidas muy finas (óxidos de hierro, titanio, zinc, etc.).

**El ácido nítrico se origina** preferentemente en fase gas, debido a la baja solubilidad del ácido en agua. Se produce por la oxidación del NO<sub>2</sub> al reaccionar con los radicales OH, HO<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub>O<sub>2</sub> (estos últimos en menor proporción).

El ozono también produce esta transformación. Ocurre a través de tres etapas con formación del radical nitrato (NO<sub>3</sub>). No puede olvidarse el papel que éste juega en los procesos químicos de la atmósfera urbana durante la noche. El mecanismo completo será:



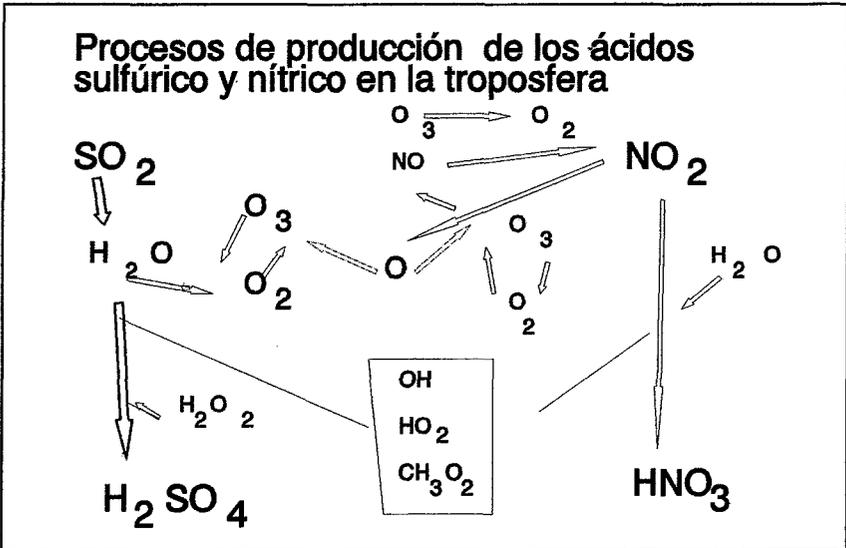
Una vez formados estos ácidos, descienden a la superficie terrestre, es la llamada *deposición ácida*.

Esta deposición ácida puede dar lugar a la *deposición húmeda*, comúnmente llamada **lluvia ácida**, (tanto la disolución de los ácidos en agua de lluvia como también en la nieve o granizo).

También puede originarse una *deposición seca*, producida por la sedimentación de partículas sólidas, (nitratos o sulfatos) que se forman por la neutralización de los respectivos ácidos. La neutralización se produce por reacción de los ácidos con el amoníaco para dar nitrato y sulfato amónico. Estas partículas precipitan en el suelo donde por la acción de determinadas bacterias, se transforman otra vez en los respectivos ácidos, dejando el suelo ligeramente ácido.

El amoníaco puede producirse por:

- procesos de fermentación anaeróbica de los deshechos orgánicos de animales;
- procesos aeróbicos que transcurren en el suelo;
- en la combustión del carbón y combustibles fósiles líquidos.



## CONTAMINACIÓN TRANSFRONTERA

Los contaminantes atmosféricos de la troposfera, debido a su incorporación a los movimientos convectivos de las masas de aire, se desplazan a grandes distancias antes de retornar a la superficie terrestre. Para estos contaminantes no existen fronteras en sus desplazamientos.

### Efectos de la lluvia ácida

Podemos considerarlos bajo tres puntos de vista diferentes: biológico, material y humano.

#### a) *Biológicos*

En el caso de las plantas, la exposición prolongada a bajas concentraciones de dióxido de azufre ( $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) puede inhibir la síntesis de la clorofila, mientras que altas concentraciones de sulfato causa la destrucción de las hojas.

La lluvia ácida puede tener efectos indirectos, por ejemplo, la introducción de ácidos en la tierra puede suponer la pérdida de nutrientes esenciales como el calcio. El conocimiento de estos efectos botánicos destructores es lo que ha llevado a hacer a la **lluvia ácida** culpable de la desaparición de bosques en gran parte de Europa.

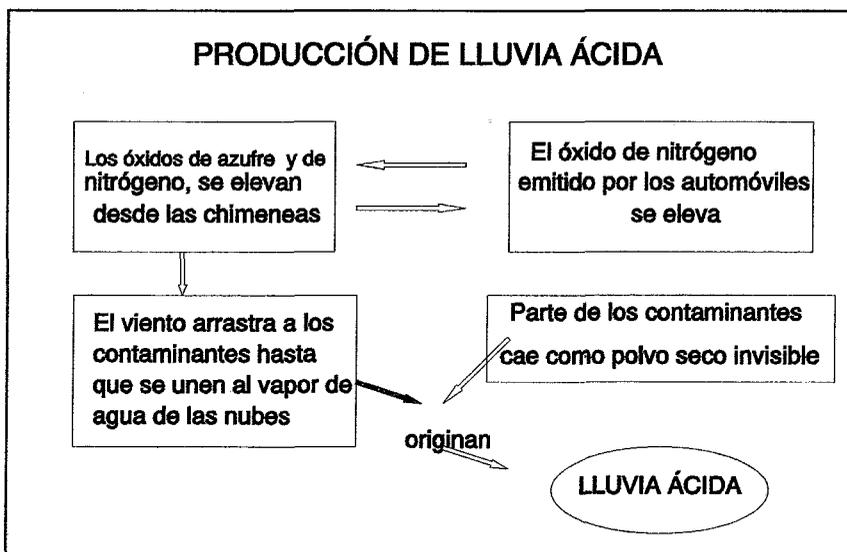
Las altas concentraciones de dióxido de azufre en la atmósfera tiene también efectos dañinos en los líquenes, por lo que su desaparición en determinadas zonas se toma como un bioindicador de la polución atmosférica.

Otros efectos del dióxido de azufre se acusan en los problemas respiratorios animales que son más intensos asociados a las partículas en suspensión que están presentes en la atmósfera.

Estas pequeñas partículas actúan como núcleos aglutinantes de gotas de agua con la consiguiente capacidad de absorber dióxido de azufre. Su oxidación a trióxido la catalizan los iones ferrosos y manganosos, presentes en ellas; una vez que se forma el trióxido de azufre reacciona con agua para dar el ácido sulfúrico. El tamaño de las partículas es tal que se inhalan fácilmente y se depositan en los pulmones y, una vez en ellos, el ácido es absorbido, o requiere grandes cantidades de fluido para su

eliminación o disolución. Además los bronquiolos se pueden contraer esporádicamente para evitar la entrada de los irritantes. Ambos mecanismos de defensa pueden hacer la respiración más difícil y al corazón trabajar con más esfuerzo.

Por otra parte el dióxido de nitrógeno ocasiona fibrosis y efisemas pulmonares; una concentración de 0,01 % puede colapsar los pulmones. Tanto el NO como el NO<sub>2</sub> interfieren la fijación de nitrógeno en las plantas leguminosas.



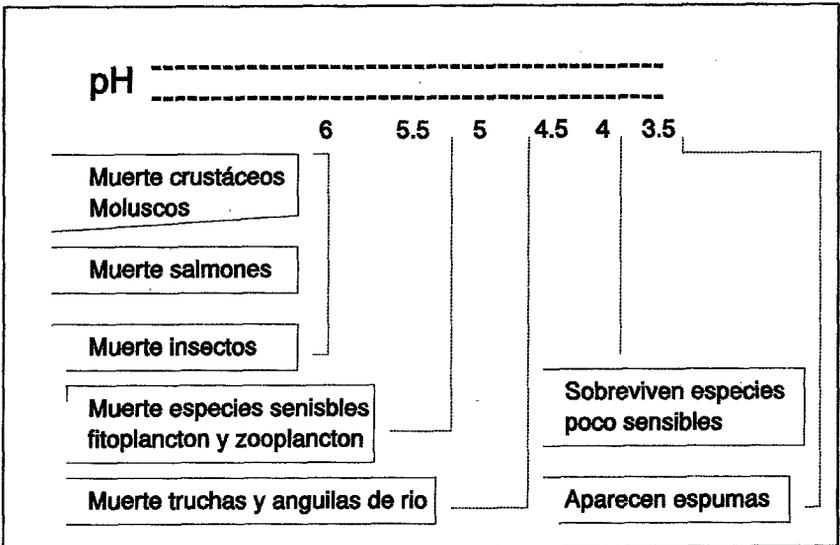
### b) *Materiales*

La sensibilidad de los lagos a la precipitación ácida depende de su lecho rocoso. Los de más riesgo son los más ricos en rocas silíceas. Estos materiales son altamente resistentes al agua y, como tales, contienen bajas concentraciones de iones básicos capaces actuar como reguladores del pH. También hay que tener en cuenta que los lagos que contienen alrededor de 5mg/dm<sup>3</sup> de iones carbonatos, que es por otra parte, una concentración muy normal en muchos de los países de Norteamérica y norte de Europa, corren el riesgo al estar expuestos a lluvias de un pH de 4.3 o menores.

Se conocen bastante bien los efectos de la lluvia ácida sobre los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, mientras que el debate se ha centrado en el dióxido de azufre como agente de la acidificación, la emisión de óxidos de nitrógeno, que ha crecido mucho en éstas décadas, no se ha tenido en cuenta. El ácido nítrico se forma a partir de sus óxidos, principalmente en primavera a consecuencia del deshielo de aguas ya acidificadas y contaminadas.

Los daños comienzan a producirse cuando el pH es menor de 6.5 y toda forma de vida «normal» desaparece cuando el pH es inferior a 5

La lluvia ácida tiene también otros efectos adversos sobre los monumentos. Por ejemplo, muchos edificios históricos están construidos a base de carbonato cálcico y mármol. La lluvia ácida sobre estos materiales actúa produciendo soluciones diluidas de nitrato cálcico, y sulfato cálcico hidratado lo que erosiona gradualmente la superficie de estos edificios. La mezcla resultante de la calcita junto al sulfato hidratado, forma una capa que se adhiere a la superficie de la piedra y la consume progresivamente. Las ciudades europeas han sufrido cuantiosas pérdidas por este medio en los últimos veinte años.



c) *Económicos*

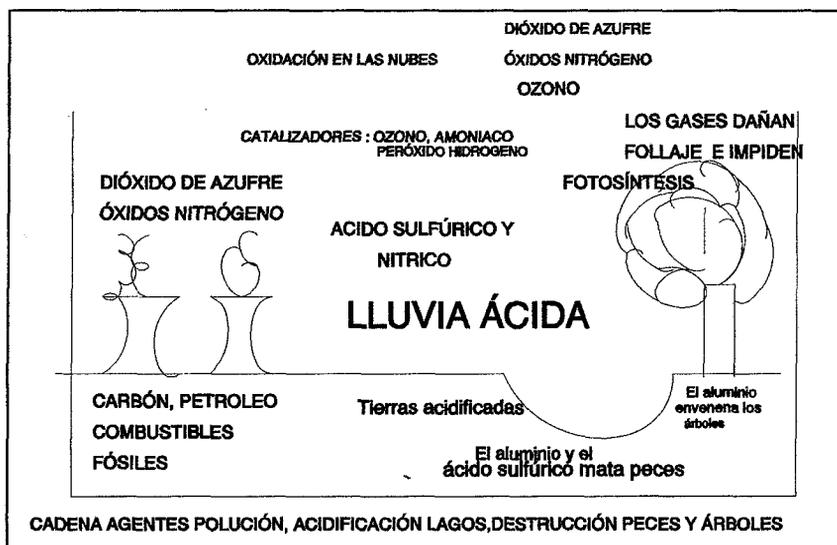
Lógicamente, otros costes relacionados con la lluvia ácida son de índole económica: pinturas frecuentes de fachadas, corrosión de metales, deterioro del papel y sus derivados...

### ESTRATEGIAS DE CONTROL

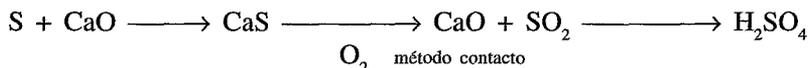
Los óxidos de azufre se eliminan del aire mediante su conversión en ácido sulfúrico y sulfatos. En esta forma, terminan depositándose sobre la tierra o en el mar debido a la precipitación pluvial o sedimentándose en forma de macropartículas. El vaciadero final de los óxidos de azufre lo constituyen el mar y la tierra.

Entre los procedimientos que se han ideado para reducir los efectos producidos por la lluvia ácida es interesante considerar aquellos que llevan a una eliminación de la base de esta contaminación. A título de ejemplo citaremos:

1) *Desulfuración de los combustibles.* El azufre del carbón, sabemos que procede de las piritas y del azufre orgánico que lo rodea. Este car-



bón se puede pulverizar y lavar para quitarle el azufre procedente de la pirita, pero con esto no se elimina el azufre orgánico que presenta uniones covalentes. Se recurre entonces a procesos de tipo químico que esquematizamos con las reacciones que los representan:



2) *Combustión.* En este proceso se hace pasar una corriente de aire por un lecho de carbonato cálcico sólido y arena. El aire pasa a tal velocidad que puede considerarse que el material se comporta como un fluido. A la vez, el lecho se calienta a unos 600 °C. En este momento se introduce el carbón y la temperatura del sistema se eleva durante la combustión, manteniéndose entre 800 y 900 °C. A esta temperatura no se favorece el paso del nitrógeno atmosférico a óxidos, mientras que el dióxido de azufre formado en el lecho reaccionará con el óxido de calcio derivado del carbonato. Se estima que el 90 % de las emisiones del dióxido de azufre se eliminan por este método.

### 3) *Otras estrategias*

La eliminación del dióxido de nitrógeno se ha propuesto mediante la absorción por un complejo de hierro: EDTA Fe (II)



Otros métodos suponen la eliminación de los absorbentes como óxidos de magnesio, alúmina, o el rociado de los gases con amoníaco para obtener sulfato amónico que se puede utilizar como fertilizante.

## LA LLUVIA ÁCIDA

### \* I. ¿QUÉ ES?

La lluvia ácida es una consecuencia de la incorporación de sustancias ácidas al agua de lluvia. Esta lluvia nociva para la naturaleza y el hombre se forma debido a la contaminación atmosférica por óxidos de nitrógeno y azufre fundamentalmente, dando lugar a los ácidos nítrico y sulfúrico que aumentan la acidez de las precipitaciones tanto de la lluvia como la nieve ácida y la niebla ácida, con efectos nocivos sobre los sistemas terrestres y acuáticos y graves consecuencias sobre la flora, fauna y los materiales.

### \* II. ¿CUÁLES SON LAS CAUSAS?

- Alteraciones en el pH de la lluvia, nieve y granizo.
- Al arder los combustibles fósiles se produce dióxido de azufre que asciende a la atmósfera y con el agua origina ácido sulfúrico. Igualmente, el óxido nítrico se convierte en ácido nítrico.

### \* III. EFECTOS

- Quema las plantas, haciendo que se vuelvan amarillas y mueran. Puede destruir ecosistemas completos.
- Pérdida de nutrientes esenciales en la tierra por la introducción de ácidos en ella.
- Destruye los sistemas ecológicos de los lagos (disminuyen grandes poblaciones de peces y altera otras partes de la red de interdependencia entre las especies vivientes en ellos).
- Produce corrosión en algunos tesoros, monumentos, puentes...
- Deteriora la calidad de vida (los contaminantes irritan los ojos y producen problemas respiratorios).

### \* SOLUCIONES POSIBLES

- Buscar nuevas fuentes de energía.
- Quemar menos combustibles fósiles en la producción de energía y en el transporte.
- Nuevos sistemas de transporte: vehículos de bajo consumo en gasolina y conseguir que funcionen con etanol, electricidad o cualquier fuente renovable de energía.
- Aumento de transportes públicos.
- Producción de materiales nuevos que requieran poca energía y utilicen materias primas renovables.
- Instalar sistemas de sulfuración o filtrado de óxido de nitrógeno en todas las chimeneas de las industrias contaminantes.
- Utilizar catalizadores en los tubos de escape de los coches.
- Desarrollo de la investigación.
- Transferencia de tecnología.
- Conciencia pública.
- Información medioambiental (público en general y estudiantes).

## DEPURACIÓN DE LAS AGUAS

Aunque parezca mentira, en España, en 1993 sólo el 59,5% de las aguas se depuraban. De hecho, de los 28.863 municipios existentes con una población superior a los 10.000 habitantes, únicamente el 66% disponen de depuradoras de aguas <sup>19</sup>.

Actualmente y por una Directiva CEE/91/271, de 21 de mayo, desarrolla la Resolución de 28/4/95, se establece un calendario relativo a la obligación de depurar las aguas. Para el principio del siglo próximo tendrán que depurarse las aguas de aglomeraciones urbanas superiores a los 15.000 habitantes-equivalentes <sup>20</sup>. Para el año 2005, se establece la obligatoriedad de depurar ya las poblaciones de entre 15000 y 2.000 habitantes-equivalentes.

La depuración se hace utilizando una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos. Es poco conocido que estos procesos llevan consigo también una contaminación para el medio, bien por el consumo de energía, bien por el impacto sobre el medio natural circundante.

Los tratamientos convencionales pueden dividirse en:

\* **PREVIOS:** Consiste en la eliminación de cuerpos de gran tamaño y densidad alta.

\* **PRIMARIOS:** Tiene como objeto la separación de sólidos en suspensión, grasas, etc utilizando productos químicos adecuados.

\* **BIOLÓGICOS** también conocidos como **SECUNDARIOS:** Su misión es la eliminación de la materia orgánica biodegradable, mediante microorganismos que puedan ser destruidos posteriormente.

\* **TERCIARIOS:** Terminan con la eliminación de la materia orgánica aún presente así como con los compuestos de nitrógeno, fósforo, sales inorgánicas, etc.

\* **TRATAMIENTOS VARIOS:** En ellos podemos incluir una serie de procesos entre los que se pueden citar: oxidación, precipitación reducción...)

---

<sup>19</sup> *Ecología y Sociedad*, 14. Suplemento Mayo 1993.

<sup>20</sup> Este concepto cuantifica la población urbana y la industrial y se define como *la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO<sup>5</sup>- de 60 gramos de oxígeno por día.*

## LA PURIFICACIÓN NATURAL DEL AGUA

Cuando la cantidad de impurezas presentes en el agua no es excesiva, la purificación de ésta tiene lugar de forma natural a través del ciclo del agua y de la acción de microorganismos.

Los distintos tipos de impurezas se eliminarían de la siguiente forma:

a) **Gases disueltos e impurezas volátiles.** Son expulsados por el aire que se mezcla con el agua a medida que circula por los lechos poco profundos de los ríos.

b) **Sólidos insolubles.** Sedimentan en los remansos y en el fondo de los lagos filtrándose a medida que el agua fluye a través del suelo.

c) **Sólidos solubles.** Dan lugar a que el agua reciba una elevada concentración de iones disueltos, el agua con estas características se diluye cuando se mezcla con grandes masas de agua.

d) **Subproductos procedentes de las plantas y de animales vivos y muertos.** Son eliminados por la actuación de gran cantidad de bacterias y de otros microorganismos. La purificación tendría lugar de la siguiente forma:

\* **Moléculas orgánicas grandes** (que contienen principalmente carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno azufre y fósforo) se degradan por medio de los microorganismos a moléculas inocuas sencillas y a iones.

Esta descomposición de la materia orgánica por medio de microorganismos puede tener lugar de dos formas:

1) **Descomposición aeróbica**, es la descomposición de la materia orgánica por las bacterias en presencia de oxígeno. Las moléculas orgánicas contienen normalmente alguno de los siguientes átomos: C, H, N, O, S, P, por acción de las bacterias aeróbicas originan compuestos tales como dióxido de carbono y agua, dando lugar también a iones nitratos, sulfatos, fosfatos, etc. De hecho, mientras hay suficiente oxígeno disponible para descomponer toda la materia orgánica presente, los microorganismos pueden mantener una masa de agua brillante y limpia.

2) **Descomposición anaeróbica**, es la descomposición de la materia orgánica por las bacterias en ausencia de oxígeno. Si se reduce el suministro de oxígeno o si el material orgánico aumenta hasta el punto que la descomposición aeróbica no pueda seguir tienen lugar cambios radicales. Las bacterias que dependen del oxígeno mueren, otras bacterias utilizan el oxígeno de iones que lo contienen como el  $\text{NO}_3^-$ , y proliferan las bacterias

anaeróbicas, las cuales precisan de condiciones exentas de oxígeno. Los productos resultantes de la descomposición anaeróbica son tan sencillos como los de la descomposición aeróbica pero mucho menos agradables.

En una masa de agua que se ha **vuelto anaeróbica**, son visibles burbujas de gas y en el aire hay olor a huevos podridos característico del sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), combinada, algunas veces, con el olor de la fosfina ( $PH_3$ ), que es igualmente malsano. El agua parece negra y está llena de cieno. Los peces y los otros habitantes que consumen oxígeno mueren con el tiempo en los estanques o los lagos que se han vuelto anaeróbicos.

### DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO) Y CALIDAD DE AGUA

El agua dulce contiene además de gases disueltos una gran variedad de cationes y de aniones. Como más frecuentes podríamos citar los componentes que se muestran en la tabla siguiente:

ALGUNOS COMPONENTES MAS ABUNDANTES EN EL AGUA DULCE	
• Gases disueltos	$O_2$ , $N_2$ , $CO_2$
• Variedad de cationes más frecuentes	$Na^+$ , $K^+$ , $Mg^{2+}$ , $Ca^{2+}$ y $Fe^{2+}$
• Variedad de aniones más frecuentes	$Cl^-$ , $SO_4^{2-}$ , y $HCO_3^-$
• Partículas pequeñas	Como sólidos en suspensión

De todos estos componentes la cantidad de oxígeno disuelto que se encuentra presente es un indicador de importante de la calidad del agua. El oxígeno es importante para los peces y otras muchas formas de vida acuática. Así, los peces de agua fría necesitan aproximadamente 5 ppm (las ppm equivalen a miligramos por litro) de oxígeno disuelto para poder sobrevivir.

El agua totalmente saturada con aire a 1 atm y 20°C contiene aproximadamente 9 ppm de oxígeno. Las bacterias aeróbicas consumen oxígeno disuelto y lo utilizan para oxidar los materiales orgánicos y convertirlos en alimentos que les satisfagan sus necesidades energéticas. El material orgánico que las bacterias son capaces de oxidar se conoce como **biodegradable**. Esta oxidación se lleva a cabo mediante un grupo complejo de reacciones químicas y los materiales orgánicos desaparecen de manera gradual. El carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno, el

azufre y el fósforo se degradan, tal como se ha indicado anteriormente, en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y fosfatos, en los materiales biodegradables. Estas reacciones de oxidación algunas veces reducen la cantidad de oxígeno disuelto a tal grado que las bacterias aeróbicas no pueden sobrevivir. En cambio, las bacterias anaeróbicas pueden sobrevivir en estos procesos de descomposición formando productos tales como  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SH}_2$  y  $\text{PH}_3$  que contribuyen a los malos olores de algunas aguas contaminadas.

La cantidad de oxígeno requerida para descomponer todos los materiales orgánicos biodegradables que se encuentran en el agua se conoce como **demanda biológica de oxígeno (DBO)**. La DBO indica la contaminación orgánica del agua. El comprobar la DBO esperando la descomposición total del residuo, precisaría de 20 a 30 días (período demasiado largo para que sea un ensayo práctico. Por tanto, el procedimiento estándar de experimentación para este tipo de materiales orgánicos es medir el  $\text{DBO}_5$  o cantidad de oxígeno consumida en 5 días. El procedimiento es el siguiente:

En esta prueba, una muestra del agua contaminada se diluye en agua destilada saturada con aire para garantizar un exceso de oxígeno. Se mide la cantidad de oxígeno disuelto que resulta en la disolución. La disolución se almacena durante 5 días a  $20^\circ\text{C}$ , después de los cuales se mide la cantidad de oxígeno disuelto. La DBO de 5 días,  $\text{DBO}_5$ , se calcula de **la cantidad de oxígeno disuelto que se ha consumido** (restando la cantidad de oxígeno que queda de la que estaba presente inicialmente) y se expresa en partes por millón.

La  $\text{DBO}_5$  casi siempre es alrededor de tres cuartas partes de la DBO total del agua. El agua que se considera «pura» tiene una  $\text{DBO}_5$  de 1ppm y el agua que se utiliza para consumo normalmente tiene una  $\text{DBO}_5$  de 1,5 ppm de  $\text{O}_2$  o menos. El agua que no ha sido tratada casi siempre tiene una  $\text{DBO}_5$  que oscila entre 100 y 400 ppm de  $\text{O}_2$ , es el caso de las aguas residuales municipales. Para el agua procedente de las industrias o de plantas de tratamiento de aguas residuales, se considera aceptable una  $\text{DBO}_5$  de menos de 20 ppm.

## TRATAMIENTO DE AGUAS PARA EL SUMINISTRO DOMÉSTICO

El agua que se necesita para uso doméstico, para la agricultura, o para procesos industriales se obtiene de los lagos, de ríos y fuentes subterrá-

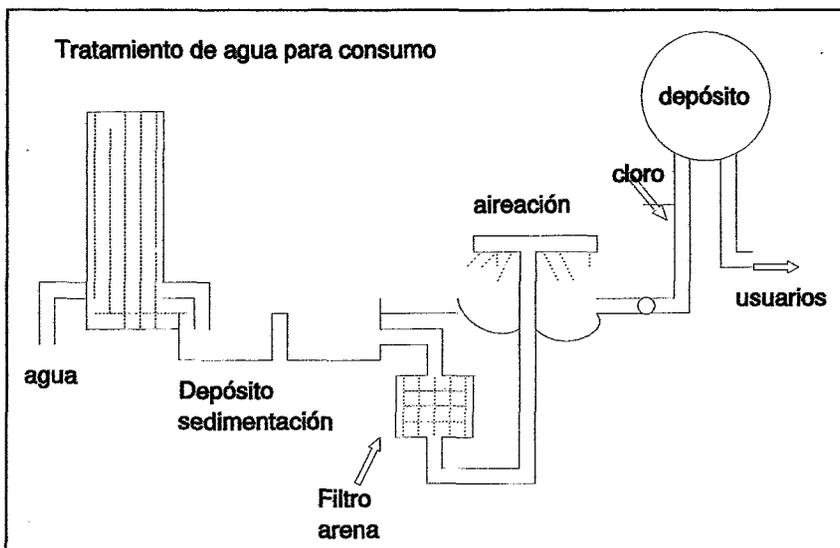
neos o de tanques de almacenamiento. Las aguas canarias se aprovechan merced a un conjunto de obras de infraestructura hidráulica levantada con el trabajo de varias generaciones de isleños (Hoyos-Limón, 1987). De hecho, Gran canaria, debe tener el mayor número de presas del mundo por kilómetro cuadrado. Se aprovechan además los recurso hidráulicos provenientes del subsuelo. Podemos citar las galerías y los pozos. Las primeras son obras de captación de aguas subterráneas, son túneles de una sola boca y ligera pendiente a favor de la cual sale el agua de sus alumbramientos. Los pozos responden a dos tipos: el pozo típico canario que es una perforación vertical de una diámetro entre dos y tres metros, que se ejecuta con explosivos. En el fondo se pueden abrir galerías horizontales. Existe también el llamado pozo-sondeo, que es un pozo de pequeño diámetro, que se hace con maquinaria que perfora el terreno al modo de un sondeo.

Una gran cantidad del agua que encontramos en los sistemas de servicio de agua potable ya ha sido sometida a uno o más sistemas de purificación o plantas industriales. En consecuencia, casi siempre es necesario tratar el agua antes de que se distribuya para esos propósitos.

El tratamiento de las aguas municipales incluye cinco pasos:

- 1) Filtración.
- 2) Sedimentación.
- 3) Filtración en arena.
- 4) Aireación.
- 5) Esterilización.

La figura siguiente muestra un proceso típico del tratamiento. Después de que se ha llevado a cabo la filtración a través de una pantalla, el agua pasa a grandes tanques en los cuales existe arena que ha sido finamente dividida o bien a través de otras partículas diminutas. Para ayudar a remover partículas muy pequeñas, el agua debe primero ser ligeramente básica agregándole  $\text{CaO}$ , y luego  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . El sulfato de aluminio reacciona con los iones  $\text{OH}^-$  para formar un precipitado esponjoso y gelatinoso de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Este precipitado sedimenta lentamente, llevando en suspensión partículas que desean eliminarse, con lo cual desaparecen materiales finamente divididos y la mayoría de las bacterias. Luego se filtra el agua a través de una capa de arena. Después de la filtración el agua se esparce en el aire para acelerar la oxidación de sustancias orgánicas disueltas.



El procedimiento final de esta etapa casi siempre consiste en el tratamiento del agua mediante una sustancia química para garantizar la destrucción completa de las bacterias. El más efectivo es el ozono,  $O_3$ , pero necesita generarse en el lugar donde se va a utilizar. El más conveniente para este tipo de procedimientos es el cloro,  $Cl_2$ . El cloro puede almacenarse en tanque en forma de líquido y luego bombearlo de los tanques hacia el agua mediante ciertos aparatos especiales. La cantidad que se va a utilizar depende de la presencia de otras sustancias con las cuales el cloro puede reaccionar y también de la concentración de bacterias y virus que necesiten eliminarse. La acción de esterilización mediante el cloro probablemente no se deba al  $Cl_2$  mismo, sino al ácido hipocloroso, el cual se forma cuando el cloro reacciona con el agua:



### TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS O AGUAS DE ALCANTARILLADO

El residuo municipal es lo que desagua de nuestros vertederos, lavadoras, bañeras y lavabos, junto con las aguas residuales industriales y, en algunos casos junto con el agua pluvial que corre por las alcantari-

llas. En contra de lo que pudiera parecer, el residuo doméstico promedio es agua pura en un 99,94% y sólo hay un 0,06% de sólidos disueltos y en suspensión. A medida que la población aumenta es cada vez más importante eliminar de este 0,06% todo lo que sea posible antes que el agua retorne a la hidrosfera.

El tratamiento de las aguas negras municipales por lo general se divide en tres etapas que se conocen como **primaria, secundaria y terciaria**. El balance del agua sometida a estos tratamientos es aproximadamente el siguiente:

- Un 10% de las aguas negras provenientes de los servicios públicos no reciben tratamiento.
- Un 30% reciben solamente tratamiento primario
- Un 60% se somete también a un tratamiento secundario.
- El tratamiento terciario es raro, pero se espera que se vuelva más común a medida que las comunidades mejoren sus facilidades de tratamiento.

A continuación se describe brevemente cada uno de estos tratamientos:

### *Tratamiento primario de residuos*

La primera etapa en el tratamiento primario consiste en hacer pasar las aguas negras por un filtro que separa los sólidos y desperdicios de gran tamaño (trozos de papel, de madera, etc) y después eliminar las arenas cenizas y gravas (denominadas colectivamente arenas) que pueden dañar las cañerías y maquinaria ulterior en la planta de tratamiento. A continuación se deja que los sólidos orgánicos e inorgánicos se depositen en grandes tanques de sedimentación. a veces se adicionan productos químicos para acelerar la sedimentación y a veces se han elaborado medidas para realizar una purificación adicional del lodo (los sólidos que sedimentan de los residuos) mediante la digestión del lodo, la cual utiliza la anaeróbica. Al final del tratamiento primario un 40-60% de los sólidos en suspensión y un 25-35% de los desechos que requieren oxígeno han sido eliminados.

Si el agua no recibe tratamiento secundario pasan a un tratamiento a base de cloro antes de ser reutilizadas en el sistema de aguas naturales. El tratamiento primario quitaaproximadamente un 60% son los sólidos suspendidos y un 35% de la DBO.

## *Tratamiento secundario de residuos*

Se basa en la descomposición aeróbica de los materiales orgánicos y llega a eliminar hasta el 90% de los desechos que requieren oxígeno.

Se han utilizado dos métodos en los que los desechos se exponen a una vigorosa población de bacterias aeróbicas y a un poderoso suministro de oxígeno:

a) **Método de filtrado por escurrimiento.** En este método en realidad no se filtra nada, simplemente el agua circulará sobre un lecho de piedras de 5 a 10 cm de diámetro. Las bacterias aeróbicas y los demás microorganismos se adhieren a las piedras y extraen la materia orgánica del agua a medida que ésta se escurre, al mismo tiempo que el oxígeno del aire se mezcla con el agua corriente.

b) **Método del limo activado.** En este método los desperdicios que se obtienen en el tratamiento primario pasan a través de un tanque de aireación en donde el aire sopla a través de estos materiales. Esta aireación provoca un crecimiento rápido de las bacterias aeróbicas que se alimentan de desperdicios orgánicos en el agua. Las bacterias forman una masa que se conoce con el nombre de «limo activado» (lodo que ha desarrollado procedente de residuos previos que ha desarrollado una elevada población de microorganismos). La mayor parte del lodo activado regresa al tanque de aireación, en donde ayuda a la descomposición de los materiales orgánicos que se encuentran en el agua que está entrando en ese momento. Después del tratamiento secundario se han eliminado un 90% de los sólidos que están suspendidos y un 90% del DBO.

## *Tratamiento terciario o tratamiento avanzado de aguas residuales*

Es el tratamiento de residuos ideado par eliminar contaminantes específicos que aun persisten después del tratamiento secundario. Los principales problemas que deben ser resueltos por el tratamiento terciario es el de eliminar cantidades relativamente grandes de materiales que contienen fósforo y nitrógeno y que pueden provocar daño a las aguas naturales promoviendo un crecimiento excesivo de algas. Además de esto muchas sustancia químicas que se encuentran presentes en las aguas negras no son alteradas por el tratamiento secundario, entre ellos se encuentran algunos contaminantes inorgánicos que contienen iones de me-

tales pesados ( $\text{Cd}^{2+}$  y  $\text{Pb}^{2+}$ ), y simplemente pasan a través de él, y son liberadas hacia el medio ambiente. El costo económico para eliminar los metales pesados y muchas sustancias orgánicas (fabricadas por el hombre) que puedan estar presentes en el agua de desecho es alto. Como resultado de esto muy poca agua de desecho recibe un tratamiento terciario general, en el cual se eliminan este tipo de contaminantes. Solamente un pequeño porcentaje de instalaciones de tratamiento de aguas residuales tienen incorporado el tratamiento terciario.

## EL AGUA COMO FUENTE DE ENERGÍA

La **Tierra** es un gran receptor de la energía y algunos autores afirman que la Historia de la Humanidad puede decirse que es la historia de los descubrimientos energéticos. **ya que el hombre necesita energía para vivir. Según el principio fundamental la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma**». De hecho, la energía mecánica puede transformarse en **eléctrica**, ésta en calorífica, en luminosa, etc. Esta energía se consigue mediante diferentes fuentes que según su existencia limitada o no se pueden considerar como energías renovables como: **el sol, el viento, el agua**, o no renovables como pueden ser: **el carbón, petróleo, gas natural, etc.**

La primera fuente de energía que descubrió el hombre fue el sol, ya que hace posible la vida de las plantas y animales.

El viento, fue empleado desde el principio de la humanidad para la navegación a vela lo que contribuyó al desarrollo y progreso de la civilización, baste pensar en los descubrimientos geográficos, en los viajes comerciales y en las exploraciones científicas. A partir del siglo XII, se utilizó para la molienda del trigo, cebada o avena.

Desde que se supo aprovechar la energía de los cursos de agua, aparecen las norias empleada para el riego en agricultura. El molino de agua es quizás la primera máquina capaz de transformar energía natural en energía mecánica utilizable. Es este molino la máquina medieval que propicia el desarrollo de las técnicas de engranajes, de la industria textil o la del papel, la minería, etc. Es más tarde cuando empiezan a aprovecharse los cursos fluviales para la producción de energía eléctrica.

En 1792, se descubrió la posibilidad de convertir al carbón en gas. Con el aprovechamiento del vapor de agua se inicia la Revolución In-

dustrial. Las máquinas de vapor se aplican a la industria, a la navegación y al ferrocarril. También aparecen las primeras centrales térmicas para la producción de electricidad.

Igualmente, el petróleo aunque empezó a ser útil hace muchos siglos, el primer pozo no se abre hasta 1859. Esto ha permitido un gran desarrollo de la economía y un aumento del nivel de vida, combustibles, productos químicos, fibras sintéticas... prácticamente casi todo sale del petróleo. Puede afirmarse sin exageraciones que el hombre está consumiendo en un siglo lo que la naturaleza tardó millones de años en originar.

Como combustible fósil de más reciente utilización podemos considerar al gas natural que hoy día se aplica tanto a fines domésticos como industriales.

Finalmente, además de con las fuentes reseñadas, el hombre cuenta con otras fuentes primarias de energía como pueden ser: la geotérmica, la biomasa, las mareas, las olas, la diferencia de temperatura entre las distintas capas del mar, etc.

## CENTRALES ELÉCTRICAS

En una central eléctrica se trata de producir una fuerza electromotriz, que al pasar a un circuito exterior dará lugar a una corriente, empleando para ello un generador, que en la mayoría de los casos es un alternador trifásico. Cualquiera que sea su clase, comprende básicamente: un generador o fuente de energía, un motor, un alternador y una estación transformadora. Esta última tiene como misión elevar la tensión de la corriente producida hasta que alcance el valor adecuado para su transporte.

Según la fuente de energía empleada para obtener la energía mecánica capaz de hacer funcionar el alternador podemos establecer que existen los siguientes tipos de centrales <sup>21</sup>:

**Central hidroeléctrica**, es una instalación donde se transforma la energía de un salto de agua en energía eléctrica.

**Central nuclear o termonuclear**, es el centro donde se produce industrialmente la energía eléctrica utilizando como agente energético ciertos elementos cuyo átomo se desintegra, como por ejemplo el átomo de uranio.

---

<sup>21</sup> Cuadro adaptado de uno facilitado por UNELCO.

## CENTRALES ELÉCTRICAS

TIPOS	COMBUSTIBLE	E. MOTRIZ
<b>TÉRMICAS</b>		
* DIESEL	- FUEL OIL	- MOTOR DIESEL
* VAPOR	- CARBÓN / FUEL	- TURBINA VAPOR
* TURBINA GAS	- GAS OIL	- TURBINA GAS
* TERMONUCLEARES	- URANIO	- TURBINA VAPOR
<b>HIDRÁULICAS</b>	- ENERGÍA DEL AGUA	- TURBINA HIDRÁULICA
<b>EÓLICAS</b>	- VIENTO	- AEROGENERADOR

**Centrales solares**, que emplean la energía del sol.

**Centrales eólicas**, que funcionan gracias a la energía que suministra la fuerza del viento.

**Centrales geotérmicas**, que utilizan la energía térmica que proviene directamente del subsuelo.

**Central térmica**, es una instalación donde tiene lugar la producción de energía eléctrica por la transformación de la energía calorífica de determinados combustibles. Las centrales térmicas clásicas utilizan fuel-oil, carbón o gas como fuente primaria de energía. El tipo de combustible que utilizan sirve para clasificarlas.

Las grandes centrales térmicas actuales utilizan, casi exclusivamente, turbinas de vapor y están instaladas cerca de grandes núcleos de consumo, que no pueden disponer en abundancia de energía hidráulica.

Las mayores aplicaciones del agua en el aspecto de la producción energética derivan de su capacidad de almacenar energía calorífica, durante el proceso de su paso a vapor. En este principio se fundamentan tanto las nucleares como las de carbón, fuel, gas etc.

El esquema del proceso sería: el agua se calienta, hierve y el vapor a presión hace girar el eje del alternador, después el vapor a baja presión es condensado y vuelve a empezar el ciclo.

En una Central Térmica se pueden encontrar una serie de elementos fundamentales:

**Caldera:** Es uno de los fundamentales a la hora de producir la electricidad. En la cámara de combustión, denominada también **hogar** se quema una mezcla de aire con el combustible correspondiente ( fuel oil, gas, carbón...).

En este proceso se produce una transformación de la energía química del combustible en energía calorífica del vapor de agua.

## **Turbina de vapor**

Es una rueda de paletas que se mueve por un chorro de vapor de agua. En efecto, el calor desprendido al quemarse el combustible, se invierte en vaporizar el agua, y el vapor sobrecalentado actúa sobre la turbina que, está unida al eje del alternador. La corriente de vapor que procede de la caldera hacen que se muevan estas paletas y produce el movimiento del eje de la turbina que está unido al alternador.

En la turbina se origina un cambio de la energía calorífica del vapor de agua en energía mecánica de rotación

**Alternador,** es una máquina fundamentada en la inducción electromagnética cuya misión es transformar la energía mecánica de rotación, que proporciona la turbina, en energía eléctrica.

Mediante un electroimán se crea un fuerte campo magnético, dentro del cual gira un arrollamiento de alambre (inducido); cada alambre del inducido corta el campo magnético alternativamente hacia arriba y hacia abajo de modo que la corriente inducida en él invierte su sentido dos veces durante cada revolución. La corriente inducida se conduce al circuito externo por medio de bloques de grafito, llamados escobillas, que descansan sobre los anillos giratorios en que terminan los alambres del inducido.

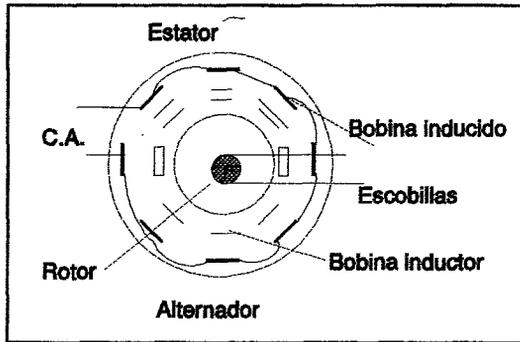
Un generador electromagnético consta pues de los siguientes órganos:

**Inductor:** que es un imán o electroimán productor del campo magnético.

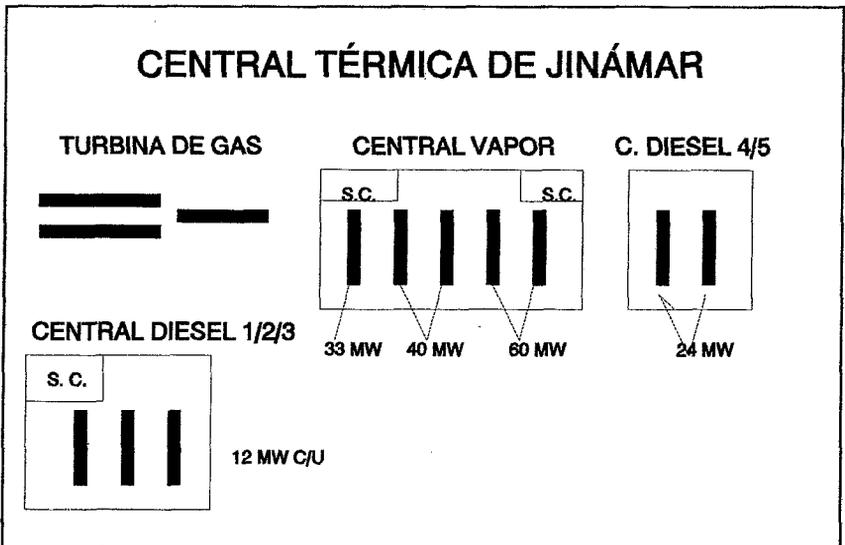
**Inducido:** Circuito conectado a otro exterior, en el que por variación del flujo de inducción, se produce una fuerza electro motriz.

El inducido y el inductor han de tener un movimiento de rotación; al órgano móvil se le llama rotor y al inmovil, estator.

En el alternador se transforma la energía mecánica de rotación en energía eléctrica.



**Condensador**, en cuyo interior se hace pasar agua fría. El vapor procedente de la turbina, se envía al condensador y al entrar en contacto con los tubos por los que circula el agua fría, se enfría y se convierte en agua líquida. Este agua ha de calentarse antes de ser enviada a la caldera. Este proceso se lleva a cabo en los calentadores que aprovechan la energía de las extracciones de la turbina.



## CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Este tipo de Centrales han de estar situadas junto al curso de un río, cuyas aguas van a suministrar la energía capaz de mover las turbinas. Para instalar una central hay que localizar un sitio donde exista un desnivel y por tanto se produzca un salto de agua. Cuando no existe hay que provocar este salto lo que se logra mediante la construcción de presas o embalses.

La energía eléctrica que se obtiene depende directamente de la altura del salto y de la masa de agua que es capaz de mover las turbinas. Por ello, las instalaciones hidroeléctricas se clasifican fundamentalmente en:

- \* Centrales de mucho salto y poca masa de agua.
- \* Centrales de pequeño salto y gran masa de agua.

El agua almacenada posee una energía potencial debido al desnivel existente entre la superficie del embalse y el orificio de salida así como de la cantidad de agua. Cuando el agua cae esta energía potencial se transforma en cinética que es la que se aprovecha para mover una turbina que origina electricidad.

La geografía de la España peninsular es muy accidentada y con abundantes ríos, lo que ha permitido la construcción de numerosas centrales hidráulicas que aprovechan el desnivel de las aguas desde el nacimiento del río hasta su desembocadura en el mar. No obstante al ser un país generalmente seco lo que no permite un aprovechamiento regular y continuado durante todo el año. Eso origina que haya que recurrirse a la utilización de centrales térmicas con un consumo elevado de diferentes combustibles.

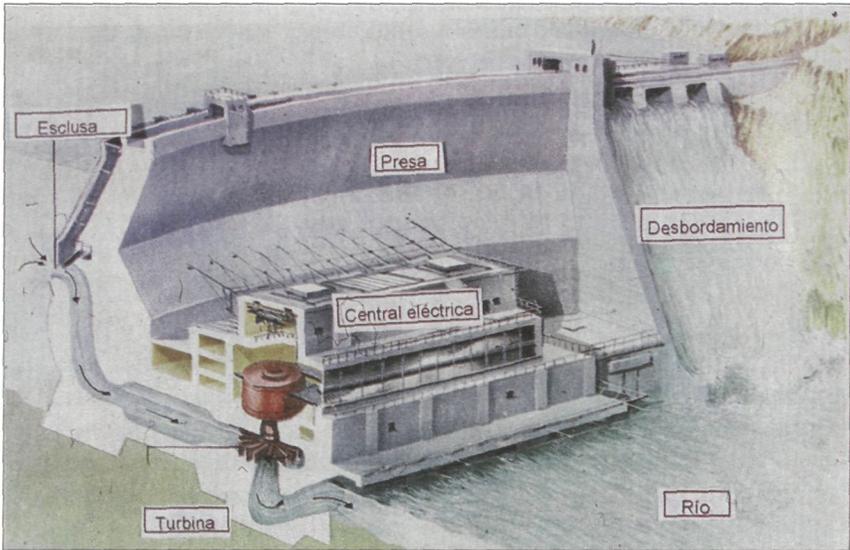
Las primeras centrales hidráulicas españolas se instalaron a principios del siglo XX (1900-1910) en Peñalara, sobre el río Ebro y la central de Molinar, sobre el Júcar. Más tarde, sobre los años 30, se empezó a aprovechar el río Duero y sobre los 60, el Tajo.

Las cuencas más importantes en el territorio peninsular son las del Norte que representan casi el 28% de la potencia hidráulica; la del Duero y la del Tajo con el 19% cada una y la del Ebro con un 21%. No obstante hemos de considerar que tanto el Tajo como el Ebro son ríos de hidrociudad irregular y con frecuencia baja.

Al estudiar el esquema de una central hidroeléctrica podemos observar como el agua embalsada pasa a través de las rejillas filtradoras y por medio de una tubería forzada llega hasta las aspas de la turbina, ésta

transforma la energía cinética del agua en fuerza motriz rotativa, que a través de un eje se le comunica al alternador que transforma esta energía mecánica en energía eléctrica. Los transformadores son los encargados de aumentar o disminuir la intensidad y la tensión de la corriente eléctrica que llegan desde el grupo de alternadores para ser enviada a través de las líneas hasta los lugares de consumo.

### Esquema Central hidroeléctrica



### Minicentrales hidroeléctricas

Este tipo de centrales son tradicionales en España y están formadas por una serie de instalaciones que permiten transformar la energía potencial de un curso de agua en energía eléctrica disponible. En términos generales son elementos necesarios: una presa o azud, un canal de derivación, una cámara de carga, la conducción hasta la central y el canal de restitución al río.

Según Hernández y otros (1992) según la forma de implantación podemos clasificar a estas pequeñas centrales hidroeléctricas en:

\* **Central fluyente:** Es la que deriva una parte del caudal del agua del río para ser empleado en la central y devuelto posteriormente al río. Hay diferentes formas de realizar esta operación lo que dará lugar a distintos tipos de obras de acondicionamiento para poder instalarlas. No obstante este tipo de centrales se caracterizan por tener un salto útil prácticamente constante, y un caudal turbinado muy variable, dependiendo de la hidrología.

\* **Central de pie de presa:** Aprovecha el salto que origina un embalse existente y que está destinado a otros usos. En ellas se regula el caudal de salida para ser turbinado cuando sea necesario lo que permite proporcionar energía durante las horas puntas. de consumo.

\* **Central en canal de riego o abastecimiento:** Es la que aprovecha los desniveles existentes en los sistemas de regadío o instalaciones de abastecimiento de agua para la producción de energía eléctrica. Puede darse el caso de que exista un desnivel en el propio canal que se aprovecha mediante la instalación de una tubería forzada que lleva el agua hasta la central para devolverla después a su curso normal en el canal. También puede instalarse la central cerca del río y se turbinan las aguas excedentes en el canal.

De las 187 minicentrales instaladas en el período 1986-90 , 167 son fluyentes, 7 de pie de presa y 13 están situadas en canales de riego.

COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CANARIAS <sup>22</sup>					
Relación de Minicentrales hidroeléctricas puestas en explotación en el periodo 1986-90					
Orden	NPRO	Nombre de la central	Empresa	Potencia KW	Producción MWH/año
1	1.136	C.H. Finca Tagoro	Cía. Agrícola Tenerife	12	102
2	326	C.H. Finca de las Flores	Segismundo Álvarez Villamil	12	96
3	566	C.H. Canal Sur-Arico	Sexer, S.A.	172	1.462

<sup>22</sup> Adaptado de HERNÁNDEZ, C. et al (1992): *Minicentrales hidroeléctricas*. Secretaría General de la Energía y recursos mineros. MICYT. *Cinco Días*. Madrid, p. 129.

## Potencia instantánea

La potencia depende del salto existente en cada instante y del caudal turbinado y viene dado por la siguiente expresión:

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H_n \cdot e$$

siendo:

P = potencia instantánea en Kw.

Q = caudal turbinado en m<sup>3</sup> /s.

H<sub>n</sub> = salto neto existente en metros.

e = factor de eficiencia de la central = Rt. Rg. Rs.

El factor de eficiencia de la central viene determinado por el producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen, es decir, la turbina, el generador y el transformador de salida. Aunque este varíe según el tipo y los fabricantes para una central pequeña puede tomarse una valor aproximado de 0,80. Como es lógico, si se conoce la potencia instantánea se puede calcular la producción de la central hidroeléctrica en Kwh, teniendo en cuenta dicha potencia y las horas de funcionamiento.

## Elementos fundamentales

### *Turbina hidráulica*

Su misión es aprovechar la energía mecánica( cinética y potencial) del agua para originar un movimiento de rotación que mediante un eje se transmite al generador que produce energía eléctrica. FUE EL perfeccionamiento de la antigua rueda hidráulica, en que solo se aprovechaba el peso del agua.

Las turbinas hidráulicas puede ser de acción o de reacción según que puedan aprovechar únicamente la velocidad del flujo para hacerlas girar o que además sean capaces de aprovechar la presión que le resta a la corriente en el momento del contacto, o lo que es lo mismo, mientras la de reacción aprovechan la altura total hasta el nivel de desagüe, las de acción solo son capaces de utilizar la altura hasta el nivel del eje de la turbina.

Existen diferentes clases de turbinas y son específicas según el tipo de central con objeto de obtener un mejor rendimiento

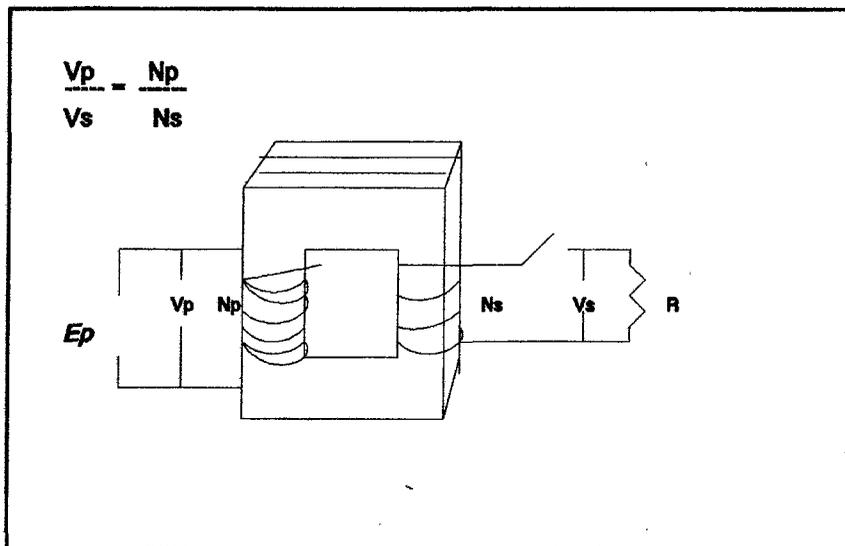
### Generador

Es una máquina que se utiliza para generar energía eléctrica y que describimos en el apartado anterior

### Transformador

Un **transformador** es un aparato destinado a variar la fuerza electromotriz y la intensidad de las corrientes de forma que su producto permanezca constante.

Su fundamento físico está en que si se pasa una corriente alterna por una bobina con núcleo de hierro, que habrá de ser de láminas, se produce en el mismo un campo magnético cuya intensidad varía de la misma forma que lo hace la corriente. Si a este núcleo se arrolla otra bobina, independiente de la anterior, el flujo que atraviesa a la misma será también variable, y en cada una de sus espiras se inducirá una fuerza electromotriz total, tanto mayor cuanto mayor sea el número de vueltas



que contenga. Esta fuerza electromotriz varía de la misma forma que lo hace el flujo magnético, lo que significa que se trata de una fuerza electromotriz alterna.

Consiste esencialmente en dos arrollamientos de alambre mutuamente acoplados denominados **primario y secundario**, que están arrollados sobre un núcleo de hierro laminado para evitar en lo posible las corrientes de Foucault <sup>23</sup>.

Si el número de vueltas de las dos bobinas es el mismo, la fuerza electromotriz que se aplica al primer arrollamiento —llamado primario— es igual a la inducida en el segundo —secundario—, pero cuando los números de vueltas no son iguales, la fuerza electromotriz es proporcional al número de vueltas. Esto permite transformar una corriente alterna en otra de diferente fuerza electromotriz.

## DESALINIZACIÓN DEL AGUA

El agua del mar, debido a su alto contenido en sal, no es adecuada para el consumo humano ni para la mayoría de los usos que se le da al agua. En muchos países, el contenido de sal del agua para servicio público está controlada, dicha cantidad debe ser alrededor de 0,05 %. Esto es mucho más bajo que el 3,5 por ciento de sales disueltas que se encuentran presentes en el agua de mar, o el 0,5 % aproximadamente que se encuentra presente en las aguas salobres del subsuelo de algunas regiones. El proceso mediante el cual se quitan las sales al agua de mar (eliminación de iones especialmente el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{Cl}^-$ ) o al agua salobre se le denomina desalinización. Es necesario cuando se quiere obtener:

- Agua muy pura a partir de un agua corriente.
- Agua potable a partir del agua del mar.

---

<sup>23</sup> Las corrientes de Foucault, son corrientes inducidas que se producen dentro de una masa metálica que se mueve en un campo magnético. estas corrientes disipan energía por efecto Joule: la masa metálica se calienta. Además por la Ley de Lenz aparecen fuerzas que tienden a oponerse al desplazamiento de la masa en el campo magnético.

Al utilizar piezas formadas por láminas de metal yuxtapuestas, la capa de óxido que se forma entre ellas dificulta la circulación de estas corrientes.

- Agua para uso público o para la agricultura a partir de agua salobre<sup>24</sup>.
- Eliminación de concentraciones excesivamente elevadas de iones en la purificación de las aguas residuales industriales
- Tratamiento terciario de residuos.

Los métodos utilizados para la desalación del agua del mar podemos encuadrarlos según que se fundamenten en separar el agua de la disolución que constituye el agua de mar, o bien, en que separen las sales.

TIPO	MODO
Procesos que separan agua	DESTILACIÓN CRISTALIZACIÓN
Procesos que separan sales	FILTRACIÓN FILTRACIÓN SELECTIVA INTERCAMBIO VARIOS

En Canarias y con objeto de poder garantizar el suministro de agua a la población y para usos agrícolas, el número de plantas desaladoras es elevado. Podemos, además encontrar aplicadas todas las tecnologías que existen para este proceso.

Lanzarote fue la pionera en España en el campo de la desalación, así como la primera a nivel mundial en cuanto al suministro de agua desalada para el consumo humano. En 1964, se convierte en uno de los puntos de referencia al instalar la primera planta desaladora de agua de mar dual, de 2.000 m<sup>3</sup> día<sup>25</sup>.

El parque actual de plantas desaladoras se puede dividir en dos grandes grupos (Pons, 1995)<sup>26</sup> según la procedencia del agua que desalan en

<sup>24</sup> En Canarias de este tipo de plantas, siete son de uso para abasto público; 26 de uso agrícola y una es mixta. La toma del agua en el pozo suele estar a una profundidad que supera los 200 metros.

<sup>25</sup> BARRETO, J. M<sup>a</sup> (1996): *Lanzarote, la lucha por el agua*. Catálogo de la exposición itinerante. INALSA. Las Palmas.

<sup>26</sup> PONS, J. J. (1995) Conferencia dictada *Experiencia de operación de plantas de desalinización en la Comunidad Canaria*. Centro Superior de Profesorado de la U.L.P.G.C. Las Palmas.

«plantas de aguas salobres» y «plantas de agua del mar». Las primeras son todas de membranas, es decir, bien de ósmosis inversa o de electrodiálisis reversible.

Las plantas de agua del mar son de varios tipos: multietapa flash, compresión de vapor, ósmosis inversa.

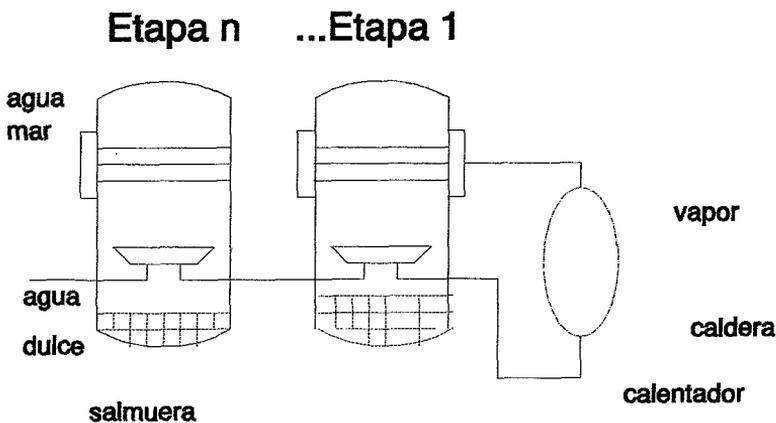
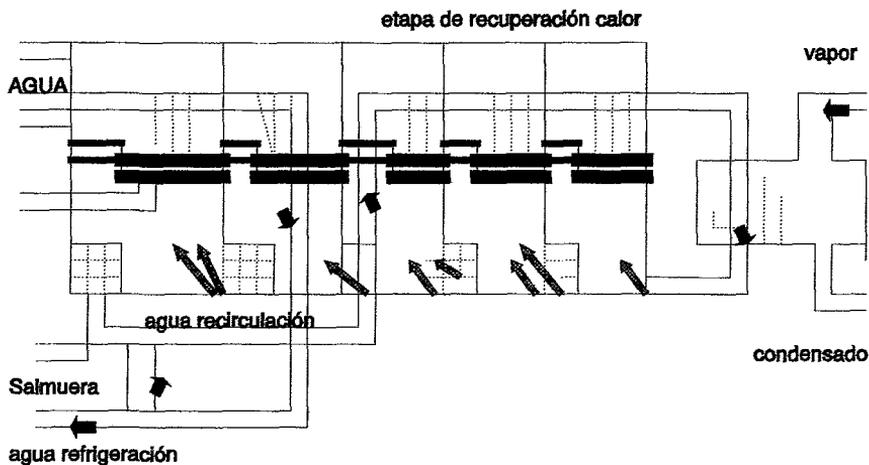
Los métodos de desalinización utilizan diversos principios distintos. Algunos de estos métodos se pueden llevar a cabo disponiendo de grandes plantas de producción. Sería conveniente desalinizar el agua con requerimientos mínimos de energía y con la menor inversión posible. Entre los métodos empleados podríamos citar los siguientes:

### A) Métodos que usan procesos de destilación

En estos métodos el agua salada se hierve y se condensa el vapor de agua pura. Este proceso es esencia una destilación del agua salada que utiliza el calor latente del vapor obtenido para calentar mas agua que, después, se evaporará , de forma que se repite el proceso sucesivamente. Teóricamente, no existirían pérdidas y este proceso se automantendría, pero en la práctica hay que disponer de una fuente externa de energía para conseguir el aumento de temperatura necesaria para comenzar de nuevo el ciclo. Si bien el principio de la destilación es muy simple presenta el inconveniente de que a medida que se destila el agua del mar las sales se concentran cada vez más en las aguas residuales y puede tener lugar su precipitación. Esto provoca la formación de capas de sales que dificultan la transferencia de calor a través de los vasos, obstrucción de conductos, etc. La solución consiste en descartar el agua del mar después de que se ha destilado cierta cantidad y repetir el procedimiento. Para conseguir la máxima eficacia, la energía exterior absorbida, necesaria par vaporizar el agua, se aprovecha porque el vapor producido se hace pasar sobre el agua de mar entrante y el calor de condensación cedido por el vapor ayuda a calentar el agua de mar según se muestra en la figura siguiente.

La desalinización del agua del mar mediante múltiples etapas de destilación instantánea. Es el proceso más ampliamente utilizado. Puede esquematizarse diciendo que el agua caliente entra en una cámara en que la presión es lo suficientemente baja para hacer que algo de agua se vaporice instantáneamente. La temperatura del agua del mar restante

# EVAPORADORES



desciende a medida que circula por la cámara siguiente, en la que la baja presión produce una nueva destilación instantánea del agua. En algunas de éstas plantas se pasa el agua de 120 °C a 37 °C en 50 etapas.

Existen en la actualidad tres desalinizadoras en Las Palmas (Jinámar): Las Palmas I, Las Palmas II y Las Palmas III, bien diferenciadas, no por

el proceso de obtención de agua potable a partir del agua del mar, sino por su carácter de responder la primera a una *planta dual*, con producción conjunta de agua y electricidad, mientras que Las Palmas II, se limita exclusivamente a la producción de agua, además de consumir en sus motores auxiliares energía eléctrica.

**LAS PALMAS I** entró en funcionamiento en 1969. Es la primera planta potabilizadora de agua de mar de sistema multiflash. Genera también energía eléctrica, por lo que consta de dos calderas y dos turbogeneradores además de cuatro evaporadores. El motivo de la elección de este tipo de planta que en aquella época la necesidad de agua iba asociada a la necesidad de energía eléctrica. La producción combinada de energía eléctrica y agua permite aprovechar el calor del vapor de escape de la turbina para la obtención del agua, la cual podría considerarse en principio como un subproducto.

**LAS PALMAS II**, entró en funcionamiento en 1980 y consta de dos evaporadores multiflash que se abastecen del vapor procedente de la Central termoeléctrica situada al lado. El hecho de tener que comprar el vapor supone un encarecimiento de los costes. El proceso en ambas plantas es el de destilación súbita polietápica, diferenciándose sólo en lo antes mencionado de que la planta Las Palmas I es dual.

Existe un gran inconveniente en este tipo de instalaciones: la corrosión de los evaporadores tanto debida al agua del mar como a la atmosférica. Se puede combatir utilizando materiales de alta calidad o protegidos bien con pintura o mediante vulcanizado, entre otros procedimientos al menos frente a la acción de la atmósfera. Desgraciadamente frente a la acción del agua del mar o a la salmuera solo cabe reponer las piezas deterioradas.

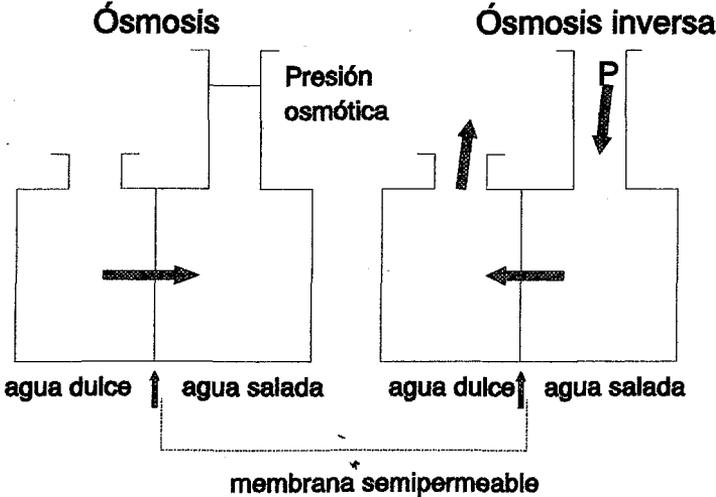
La calidad del agua obtenida es excelente y su salinidad no suele alcanzar los 10 ppm.

## B) Método basado en el principio de ósmosis inversa

El fenómeno de la ósmosis consiste en el paso de moléculas de **disolvente** a través de una membrana semipermeable desde una disolución más diluida a otra disolución más concentrada. Las membranas semiper-

meables permiten la difusión del disolvente y de algunas moléculas pequeñas de soluto, pero no de moléculas más grandes (sales disueltas).

Si un recipiente se divide en dos compartimentos por medio de una membrana semipermeable y se coloca agua pura en las dos partes, las moléculas de líquido se difunden a través de la membrana en las dos direcciones, y no se produce un cambio aparente. En cambio, si se disuelve una sustancia en el agua (sal) en uno de los lados de la membrana, la concentración efectiva de disolvente en este lado disminuye y como consecuencia algunas moléculas del disolvente (agua) se difundirán a través de la membrana hacia el lado de la **disolución**. Sin embargo, las moléculas de líquido (agua) en este lado pueden todavía difundirse libremente pero las velocidades de difusión del líquido en las dos direcciones son desiguales. Como consecuencia los niveles de líquido en los dos lados de la membrana se hacen diferentes (ver figura). El proceso continúa hasta que el peso del líquido en el lado de la membrana en que se encuentra la disolución ejerce una presión lo suficientemente grande como para que la difusión de las moléculas de disolvente en las dos direcciones ocurra otra vez a la misma velocidad. Si tuviéramos **dos disoluciones de diferente concentración** situadas respectivamente en cada lado de la membrana se comportarían de la misma forma, con más moléculas moviéndose desde la disolución más diluida a la más concentrada hasta que las velocidades de difusión y las concentraciones fuesen iguales.



La **presión osmótica** se define como la presión externa suficiente para oponerse exactamente a la ósmosis e interrumpirla. Se debe observar que la presión osmótica debería ser una presión en el lado de la membrana en el que se encuentra la disolución más concentrada. El proceso de ósmosis directa descrito anteriormente puede, por tanto, invertirse aplicando una presión mayor que la presión osmótica.

La **ósmosis inversa** utilizada en la desalinización del agua del mar consiste en aplicar una presión mayor que la presión osmótica a la disolución que se halla a un lado de una membrana semipermeable, para conseguir que las moléculas de agua se difundan a través de la membrana hacia el lado en el que está el agua dulce. Es decir, en dirección contraria a la que se mueven las moléculas de agua en la ósmosis. Todas las membranas están sujetas a oxidación preferentemente por los residuos de cloro.

En aguas salobres la presión necesaria para producir la ósmosis inversa varía entre 15 y 30 atmósferas dependiendo de las sales presentes en el agua. El sistema empleado es el «permesep», actualmente utilizado en millares de instalaciones de diversos países. La membrana es del tipo de arrollamiento en espiral, fabricada en acetato de celulosa o en poliamida, que va dentro de un tubo capaz de soportar la presión de trabajo.

El agua obtenida por este procedimiento se desgasifica para eliminar el dióxido de carbono y el ácido sulfúrico y se ajusta automáticamente a un pH neutro. Un tanque de retrolavado sirve para limpiar, con una descarga de agua los permeadores, las bombas, las tuberías de acero inoxidable cuando se interrumpe el funcionamiento.

**LAS PALMAS III**, utiliza este sistema. En ella, el agua se toma en la superficie de una piscina artificial preparada al efecto y no mar adentro a través de un emisario para evitar el efecto de las mareas, como se hace en otras plantas. Tiene el inconveniente de que estas aguas quietas, por la acción de la luz solar, alta oxigenación y temperaturas elevadas suelen originar una contaminación biológica que obliga a un tratamiento previo del agua. Se hace con hipoclorito sódico, como desinfectante; un floculante, normalmente cloruro férrico, un antiincrustante y ácido sulfúrico o bisulfito sódico cuya misión es regular el pH a la vez que reducir tanto el oxígeno como el cloro libre que perjudicaría a las membranas. De todas formas, es preciso un filtrado intenso.

Estas plantas no presentan problemas medio ambientales ya que su vertido lo hacen por gravedad con emisarios que suelen entrar mar aden-

tro. Con respecto a los restos del tratamiento químico es tan pequeño que no debe tenerse en cuenta.

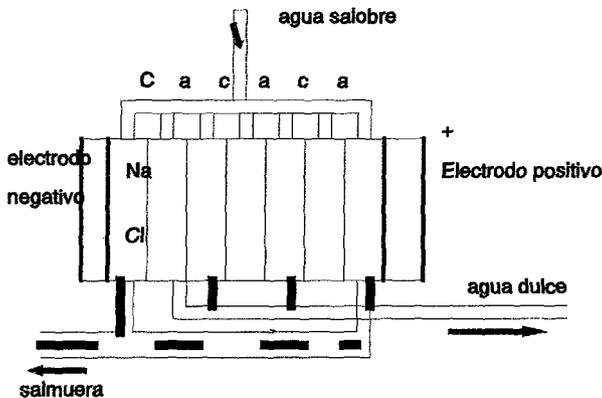
### C) Método basado en el proceso de electrodiálisis

Es un procedimiento que utiliza membranas al igual que el de ósmosis inversa, diferenciándose sustancialmente en el tipo de fuerza que usa para la separación de las sales: el potencial eléctrico en éste y un gradiente de presión en la osmosis inversa. El consumo de energía es bajo ya que no existen cambios de fase.

Se basa en crear un potencial eléctrico en el seno del agua salada. Esto determina que los iones (cationes y aniones de la disolución) vayan hacia los electrodos respectivos. Al existir una membrana selectiva únicamente la atravesarán los que sean compatibles con el tipo de membrana instalada.

Aunque teóricamente pueden eliminarse todos los iones en la práctica aparecen fenómenos secundarios que consumen energía: la conducción eléctrica por los iones  $H^+$  y  $OH^-$  y también la aparición de un gradiente de concentración a través de la membrana.

Se consideraba como un procedimiento fácil y económico. Puede ser utilizado también en el tratamiento terciario de residuos. Esquemáticamente podemos decir que la corriente eléctrica produce la ionización de la sal ( $Cl^-$  y  $Na^+$ ) que emigran hacia el ánodo o cátodo respectivamente, encontrando en su camino las membranas osmóticas permeables bien a los aniones o a los cationes. De esta manera se consigue un agua libre de sales.



## BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO DÍAZ, J. A. (1996): «La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema». *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1), pp. 35-44.
- ANTÓN, F. y SOLER, J. I. (1996): *Plúcia y Medio Ambiente*. Ecorama. Granada
- ATKINS, P. W. (1992): *Química General*. Ed Omega. Barcelona.
- BAILAR, J. et al. (1978): *Química*, Vicens Vives. Barcelona.
- CABEZA, M. (1975): *I Curso sobre sistemas de desalación de aguas*. Departamento de plantas potabilizadoras Babcock & Wicox Española, Madrid.
- CASTAÑO, M.L. y otros (1981): *La enseñanza por el entorno ambiental*. Servicio Publicaciones MEC. Madrid.
- CORRALES, C.; CORBELLA, D. y ÁLVAREZ, M<sup>a</sup> A. (1992): *Tesoro lexicográfico del Español de Canarias*. Real Academia Española. Gobierno de Canarias. Madrid.
- DE MANUEL, E. (1994): *Ciencias de la Naturaleza. 3º E.S.O.* Algaida. Madrid.
- DEL CARMEN, L. (1990): «El proyecto curricular de Centro». En: *El curriculum en el centro educativo*. Barcelona, ICE/Horsori.
- DRIVER, R. y OLDFHAM, V. (1986): «A constructivist approach to curriculum development in science». *Studies in Science Education*, 13, pp. 105-122.
- DRIVER, R. (1986): «Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos» *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3-15.
- DRIVER, R. (1988): «Un enfoque constructivista para el desarrollo del curriculum en Ciencias». *Enseñanza de las Ciencias*, 6,(2), 109-120.
- EMALSA, (1988), *Memoria anual*, Las Palmas.
- GALACHE, M.I. y CAMACHO, E. (1992): «Un avance decisivo en el conocimiento de los iones: la teoría de Arrhenius de la disociación electrolítica». *Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), 307-311.
- GAMBOA, S. (1991): *Aprender jugando con la naturaleza*. Bonum. Argentina.
- GAMOW, G. (1971): *Biografía de la Física*. Salvat/ Alianza. Madrid.
- GEGA, P.C. (1980): *La enseñanza de las Ciencias Naturales en la Escuela Primaria*, Paidós, Barcelona.
- GIL, D. (1983): «Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las Ciencias». *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 26-23.

- GIL, D. (1987): «Los programas - guía de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias». *Investigación en la Escuela*, 3, pp. 3-12.
- HEWSON, P. W. y THORKEY, N. R. (1989): «The conditions of conceptual change in the classroom». *International Journal of Science Education*, 11, 541-553.
- HIERREZUELO, G. y MOLINA, A. (1988): *La Ciencia de los alumnos*. Laia-MEC, Barcelona.
- HIERREZUELO, G. y MOLINA, A. (1988): «Las tareas razonadas en Ciencias». *Enseñanza de las Ciencias*, 6(1) 38-41.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1989): *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y Química*. Ed. Laia. MEC. Madrid
- HIERREZUELO, J. et al. (1995): *Ciencias de la Naturaleza. Primer curso E.S.O.* ( 4 vol). M.E.C.-Edelvives. Madrid
- HOYOS-LIMÓN, A. et al. (1987): *El agua en Canarias*. Consejería de Obras Públicas y M.O.P.U. Santa Cruz de Tenerife.
- KAMII, C. (1985): *Young children reinvent arithmetic: Implications of Piaget's theory*. New York: Teacher College Press.
- LAYTON, D. (1988): «Revaluing the T in STS». *International Journal of Science Education*, 10 (4), pp. 367-378.
- LEVINE, I. N. (1991): *Físico-Química*. Mc Graw Hill. Madrid.
- MANS TEIXIDO, C. (1985): *El agua, cultura y vida*, Salvat, Barcelona.
- MASTERTON, W., (1983): *Química General Superior*, Importécnica. Madrid.
- MARECHAL, Y. (1989): «El enlace de hidrógeno», *Mundo científico*, 92, 608-618.
- MARTÍNEZ, F.; MATO, C. y REPETTO, E. (1994): *Los aspectos medioambientales y la enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. Consejería de Educación del Gobierno de Canarias.Tenerife.
- MATO, M. C.; REPETTO, E. y MESTRES, A. (1995): « La visita a un aula de la Naturaleza como recurso didáctico (I)». *Aula de innovación Educativa*, 31, Suplemento nº 39, 1-19.
- MATO, M. C.; REPETTO, E. y MESTRES, A. (1995): «La visita a un aula de la Naturaleza como recurso didáctico (II)». *Aula de innovación Educativa*, 31, Suplemento nº 40, 1-19.
- MATO, M. C.; MESTRES, A. y REPETTO, E.(1996): «Recursos didácticos (I) y (II)». En: REPETTO, E. y MARRERO, G. (comp.): *Estrategias de intervención en el aula desde la LOGSE*. ICEPPS. Las Palmas de Gran Canaria, pp. 335-425.
- PAPP, D. (1945): *Historia de la Física*. Espasa Calpe. Madrid
- PARAIRA, M. (1981): *Laboratorio: Guía General de Prácticas de Química*. Ed Hora S.A. Madrid.
- PENICK, J. E. y YAGER, R. E. (1986): «Trends in Science Education: some observations of exemplary programs in the United States». *European Journal of Science Education*. 8 (1), pp. 1-9.

- REPETTO, E. y MATO, M<sup>a</sup>. C. (1989): *Utilización de productos químicos de la vida diaria en la enseñanza de la Química :las disoluciones*. Departamento Didácticas Especiales. Universidad La Laguna.
- REPETTO, E; MESTRES, A. y MATO, M. C. (1991): *Actualización en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Algunos temas de interés*. Departamento de Didácticas Especiales de la U.L.P.G.C. Las Palmas de Gran Canaria.
- RONZANO, E. y DAPENA, J. L. (1995): *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. Díaz Santos. Madrid.
- ROSEMBERG, J. L. y EPSTEIN, L. M. (1990): *Química General*. McGraw Hill. Madrid.
- RUSSELL, J. B. y LARENA, A.(1987): *Química*. McGraw Hill. Madrid.
- V/A (1970): *Diccionario de la Lengua Española*. Real Academia Española. XIX Eds. Espasa- Calpe. Madrid.
- SAMIT, J. (1972): *Historia de las Ciencias (Física y Química)*. Bruguera. Barcelona.
- V/A (1992): *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Díaz Santos. Madrid
- VALCARCEL, M. V. y otros (1990): *Problemática didáctica del aprendizaje de las Ciencias experimentales*, Servicio Publicaciones. Universidad Murcia.
- V/A (1970): *Diccionario de la Lengua Española*. Real Academia Española. XIX Eds. Espasa- Calpe. Madrid.
- ZABALA, A. (1955): *Cómo trabajar los contenidos procedimentales en el aula*. Graó. Barcelona.
- VÍDEO: «*El agua en Canarias*». Consejería de Educación Gobierno de Canarias. Santa Cruz de Tenerife.

## ANEXOS

Como complemento, presentamos un **Glosario** que puede facilitar la lectura y comprensión del texto anterior en el que hemos incluido algunos términos de vocabulario canario. En el anexo II se pone de manifiesto la utilización del contexto canario para el estudio de contenidos científicos explicitándolo mediante la planificación y el desarrollo de una visita didáctica, que particularizamos en la que puede efectuarse a la Depuradora de aguas residuales de Barranco Seco II<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> La descripción pormenorizada de las actividades pueden encontrarla en MATO, M. C.; REPETTO, E.; MESTRES, A. y CALVO, J. R. (1996), *Un contexto para el aprendizaje de las Ciencias: Estación depuradora de Barranco Seco II*. Servicio de Publicaciones U.L.P.G.C. Gobierno de Canarias, Consejería de Educación.

ANEXO I  
**GLOSARIO**

**Abiótico:** Donde no se puede vivir. Se dice de todo aquello que no da soporte a la vida.

**Absorción de la luz:** Es el efecto de pérdida de intensidad de un haz luminoso cuando atraviesa un medio natural. Ocurre la desaparición de la luz incidente produciendo un aumento de la temperatura del cuerpo y aparición de energía menor. Se puede verificar junto con la reflexión y la refracción.

**Aerobio:** Se refiere a todo lo que vive, funciona o actúa sólo en presencia de oxígeno o aire. Organismo que necesita del oxígeno del aire para vivir.

**Aerobiosis:** Son los procesos biológicos que requieren oxígeno para su funcionamiento.

**Acogidas:** Terreno dedicado a recoger las aguas pluviales. En Lanzarote, además de los aljibes inmediatos a las casas, hay algunos independientes y distantes, que reciben el agua de un trozo de terreno pavimentado al efecto, *la acogida*.

**Agua de borrajas:** Cosa sin importancia.

**Aguas residuales:** Las que proceden de viviendas, poblaciones o zonas industriales y arrastran suciedad y detritus.

**Agua:** Sustancia cuya fórmula es  $H_2O$ ; muy abundante en la naturaleza, esencial para la existencia de vida. Posee un comportamiento químico-físico muy particular. En estado líquido cubre el 71% de nuestro planeta, pero también existe en grandes cantidades en forma sólida (hielo y nieve) y gaseosa como vapor de agua atmosférico. Entre estos tres estados, el agua cumple un *ciclo hidrológico*. Los seres vivos están compuestos entre un 65 y un 99 % de agua. (Veáse molécula de agua.)

**Aljibe:** Depósito usado para recoger el agua de las lluvias. En UGA (Lanzarote) se construyen los tejados con la inclinación suficiente para que el agua de lluvia pueda verterse en el aljibe. **Los aljibes** muy grandes reciben el nombre de maretas.

**Ambiente:** Conjunto de circunstancias y condiciones de un lugar que influyen en la forma de vida de los seres vivos. (Vease medio ambiente).

**Anaerobio:** Organismo que puede desarrollarse en ausencia total de oxígeno, como ciertas bacterias, protozoos y gusanos. Estos microorganismos obtienen la energía no de la combustión (respiración) de sustancias con oxígeno sino de sustancias orgánicas en descomposición, mediante la fermentación.

Las bacterias anaerobias pueden obtener el oxígeno a partir de los nitratos, o sulfatos, liberando nitrógeno, óxido nitroso, sulfato amónico o sulfhídrico, siempre que haya material oxidable disponible (por ejemplo, restos vegetales, metanol, u otro compuesto cualquiera carbonado).

**Asperón:** Piedra arenisca, de cemento silíceo o arcilloso cuyas partículas visibles son unos granos tenues de arena, ligados más o menos íntimamente, por medio de un glúten particular. Existen varias clases: *Piedra de amolar, el canto azul de Tenerife, el canto ordinario de Canarias, la piedra de destilar o filtrar el agua.* Esta última está compuesta de una masa de fragmentos de conchas, es áspera, porosa, de color amarillento y parduzco, en disposición de conservar ciertos intersticios, por los cuales se filtra el agua, saliendo destilada y más pura. Se extrae de una cantera bañada del agua del mar en el paraje de Guanarteme en Canaria, y aunque blanda, se endurece bastante al aire. De esta piedra es la fachada antigua de la Catedral y de la Audiencia.

**Atmósfera:** Es la capa gaseosa que envuelve la Tierra. Tiene unos 200 Km de espesor, cuya densidad disminuye con la altura, hasta el punto que la mitad de su masa total corresponde a los 5 primeros Km. La temperatura varía también con la altura, hecho que se utiliza para dividir la atmósfera en capas. Las propiedades de cada una guardan relación con la actividad química de sus contaminantes, si bien las de mayor importancia son las de la troposfera, que contiene el aire que respiramos y en la que se desarrollan, todos los procesos meteorológicos. La atmósfera de la Tierra está constituida por una mezcla de gases principalmente nitrógeno y oxígeno y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, neón, argón, vapor de agua y otros gases.

**Autótrofo:** Organismo que no depende de las fuentes externas de sustancias orgánicas para elaborar sus propios componentes orgánicos, los cuales puede fabricar a partir de material inorgánico. La mayoría de las plantas verdes que contienen clorofila son autótrofas y elaboran sus propios alimentos, son organismos llamados productores y constituyen la base de las llamadas pirámides alimenticias.

**Azud:** Obra realizada en el cauce de un río con el fin de provocar una retención que sirva para desviar el agua de su cauce normal. El azud no crea desniveles de agua importantes ni proporciona capacidad de regulación

**Bacteria:** Organismo microscópico que consta de una sola célula. Las bacterias se encuentran en el aire en el agua y en la tierra, así como en cuerpos vivos o muertos. Las bacterias del suelo *autótrofas* realizan importantes cambios en el mismo al fijar en éste el nitrógeno atmosférico (bacterias nitrificantes). Las bacterias *heterótrofas* cierran el ciclo de la materia en los *ecosistemas* al degradar casi cualquier sustancia orgánica a sus elementos inorgánicos originales. Pueden vivir libres o en simbiosis con plantas superiores. Muchas son indispensables para la humanidad y otras son perjudiciales produciendo algunas enfermedades.

**Bacteria desnitrificante:** O respiradora de nitrógeno, la cual, en ausencia de oxí-

geno libre, puede utilizar el oxígeno contenido en nitratos para la «respiración», y con ello produce la oxidación de los compuestos orgánicos de carbono. Por lo tanto el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) se reduce bien para dar lugar a gas hilarante ( $\text{N}_2\text{O}$ ) o nitrógeno ( $\text{N}_2$ ).

**Bacteria nitrificante:** Grupo de bacterias que obtienen su energía mediante la combustión del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) que transforman en nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), y a éste, en Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), respectivamente.

**Bactericida:** Toda sustancia que produce la muerte de bacterias; por ejemplo los antibióticos.

**Benegal, bernegal o bernagal.** Vasija grande de barro cocido achatada, que en la destiladora se coloca debajo del filtro (pedar de destila) para recoger el agua que mana gota a gota de la piedra.

**Biocenosis:** Conjunto de todas las poblaciones mutuamente aceptadas, que habitan un área natural

**Biodegradable:** Sustancia que se degrada o descompone de forma natural por acción del medio ambiente. Es una cualidad que se exige y se proclama en determinados productos, por ejemplo, los detergentes.

**Biomasa:** La cantidad total de sustancia viva (plantas, animales, microorganismos) que existen en un cierto ambiente o en todo el planeta.

**Biosfera:** \* Parte de la Tierra donde es posible la existencia de seres vivos. Consta de tres partes diferentes la litosfera (o tierra firme), la atmósfera (o región de aire) y la hidrosfera (o región acuática).

\* Conjunto de los medios donde se desarrollan los seres vivos.

\* Parte de la Tierra donde existe vida.

\* Envoltura irregular de la Tierra donde tienen lugar los procesos de la vida.

**Biotopo:** Unidad de ambiente en que vive una biocenosis, también puede definirse como una zona de características ambientales uniformes ocupadas por una biocenosis. El tamaño del biotopo puede variar considerablemente y dentro de los grandes biotopos pueden individualizarse otros de menores dimensiones. Un biotopo puede ser el océano, su zona costera o una charca, porque lo único que condiciona a esta unidad ecológica es la uniformidad ambiental y el estar ocupada por una biocenosis.

**Borrajás:** Planta anual de la familia de la familia de las Borraginaceas. La infusión de sus flores se emplea como sudorífero.

**Caballón:** \* Lomo entre surco y surco de la tierra labrada.

\* El que se levanta con la azada para formar y dividir las eras de las huertas y para plantar las hortalizas.

\* El que se dispone para contener las aguas o darles dirección en los riegos.

**Cadena trófica:**Proceso en el que se transfiere energía dentro de un ecosistema determinado, a partir de las plantas y a través de distintos organismos. Cada etapa de la cadena se conoce como nivel trófico. El primer nivel está representado por los vegetales que captan la energía solar mediante la fotosíntesis. El

segundo nivel lo constituyen los herbívoros que se alimentan de vegetales y a su vez son consumidos por carnívoros. Los siguientes niveles los formarán pues los distintos consumidores carnívoros primarios, secundarios, terciarios, etc.

**Calor específico:** Cantidad de calor por unidad de masa que se requiere para elevar la temperatura de una sustancia en un grado centígrado. El calor específico del agua es de una caloría, puesto que se requiere una caloría de energía para elevar la temperatura de un gramo de agua en 1°C.

**Camellón:** Denominación de lo que en castellano es **caballón**. Trozo de tierra entre surco y surco, que por descuido o por inepticia queda sin arar.

**Capa freática:** La capa del subsuelo que contiene aguas acumuladas sobre un estrato impermeable y que pueden aprovecharse por medio de pozos.

**Capacidad calorífica:** La capacidad calorífica de una sustancia cualquiera es la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de una sustancia 1K. Puede depender de la temperatura. Con frecuencia se utilizan cantidades como *la capacidad calorífica molar* (capacidad calorífica por mol) y *la capacidad calorífica específica* (capacidad calorífica por unidad de masa, llamada a veces *calor específico*). La capacidad calorífica específica promedio del agua es 1,00 cal/g.K = 4,184 kJ/Kg.K. Las desviaciones de este promedio son menores del 1% entre los puntos de congelación y ebullición.

**Capilaridad:** Elevación o descenso de un líquido en un tubo capilar; es directamente proporcional a la tensión superficial del líquido, e inversamente proporcional al diámetro del tubo, a la viscosidad del líquido y a la atracción de la gravedad.

En las plantas, como el diámetro de los capilares es muy pequeño, la humedad puede subir a grandes alturas.

**Catabolismo:** El catabolismo es la rotura de moléculas complejas en otras más simples, con la liberación de energía.

**Caudal (Escorrentía):** Volumen de agua que fluye a través de una sección determinada en la unidad de tiempo.

**Central en canal de riego o abastecimiento:** Es la que aprovecha los desniveles existentes en los sistemas de regadío o instalaciones de abastecimiento de agua para la producción de energía eléctrica. Puede darse el caso de que exista un desnivel en el propio canal que se aprovecha mediante la instalación de una tubería forzada que lleva el agua hasta la central para devolverla después a su curso normal en el canal. También puede instalarse la central cerca del río y se turbinan las aguas excedentes en el canal.

**Centrales eólicas,** que funcionan gracias a la energía que suministra la fuerza del viento. En las grandes instalaciones, el viento es aprovechable solo a partir de ciertas velocidades. Sabemos que la energía que puede obtenerse es proporcional al cubo de la velocidad del viento. En la actualidad se han instalado grandes parques eólicos para la producción de energía eléctrica.

**Central fluyente** Es la que deriva una parte del caudal del agua del río para ser empleado en la central y devuelto posteriormente al río. Hay diferentes

formas de realizar esta operación lo que dará lugar a distintos tipos de obras de acondicionamiento para poder instalarlas. No obstante este tipo de centrales se caracterizan por tener un salto útil prácticamente constante, y un caudal turbinado muy variable, dependiendo de la hidrología.

**Centrales geotérmicas**, que utilizan la energía térmica que proviene directamente del subsuelo. El interior del globo terráqueo constituye una reserva de energía prácticamente inagotable, pero es poco aprovechable. Son conocidas las de la región de Toscana (Italia) que aprovechan el vapor subterráneo de los **soffioni**, a una temperatura cercana a los 200<sup>o</sup> C. Los turbo-alternadores que producen varios centenares de miles de kilovatios reciben directamente el vapor natural.

**Central hidroeléctrica:** Instalación donde se transforma la energía de un salto de agua en energía eléctrica.

**Central nuclear :** Es el centro donde se produce industrialmente la energía eléctrica utilizando como agente energético ciertos elementos cuyo átomo se desintegra, como por ejemplo el átomo de uranio.

**Central de pie de presa:** Aprovecha el salto que origina un embalse existente y que está destinado a otros usos. En ellas se regula el caudal de salida para ser turbinado cuando sea necesario lo que permite proporcionar energía durante las horas puntas. de consumo.

**Centrales solares:** Emplean la energía del sol. La irradiación solar supone un aporte, en tiempo claro, de un Kw/m<sup>2</sup> aproximadamente. Tiene el inconveniente de ser muy irregular tanto a lo largo del día como de los años. Hoy día es conocida y utilizada por gran parte de la población (paneles solares) para su empleo doméstico.

**Central térmica**, es una instalación donde tiene lugar la producción de energía eléctrica por la transformación de la energía calorífica de determinados combustibles. Las centrales térmicas clásicas utilizan fuel-oil, carbón o gas como fuente primaria de energía. El tipo de combustible que utilizan sirve para clasificarlas.

**Central termonuclear:** Es el centro donde se produce industrialmente la energía eléctrica utilizando como agente energético ciertos elementos cuyo átomo se desintegra, como por ejemplo el tomoe uranio. Es decir, se produce energía eléctrica a partir de la energías nuclear. Si se pudiera desintegrar por completo la materia se podrían obtener cantidades enormes de energía. Un solo gramo de cualquier sustancia equivale a 25 millones de Kw/h.

Se conocen tres combustibles nucleares, o lo que es lo mismo, tres clases de átomos fisibles: uranio, 235; plutonio,239 y uranio, 233. Sólo el primero se encuentra en la naturaleza formando parte del uranio natural en una pequeña proporción (0,7%).

**Ciclo:** En general cualquier proceso que transcurre de forma circular o de circuitos cerrados. Serie cíclica de estados por los que pasa un elemento químico (o una sustancia compuesta) en la biosfera, del medio ambiente a los

organismos, y de éstos otra vez al medio ambiente. Por ejemplo, el ciclo del carbono, del nitrógeno, del agua, etc.

**Clorofila:** Pigmento verde de los vegetales, con cuyo concurso captan éstos la energía luminosa que luego es utilizada en la *fotosíntesis*.

**Condensación:** Conversión de un gas o vapor en líquido. Es el proceso opuesto a la evaporación.

**Constante dieléctrica :**La constante dieléctrica de un líquido,  $D$ , mide la disminución que experimenta las fuerzas de Coulomb, entre dos iones situados en el seno del mismo.

En un compuesto iónico, la unión se realiza por fuerzas electrostáticas. Entre dos iones de signo contrario existe una fuerza de atracción de un determinado valor. Si estos dos iones se introducen en el seno de un líquido que posee momento dipolar, las moléculas del líquido se disponen entre los dos iones, orientando sus polos. Como resultado de ello, la atracción entre los iones es menor y las fuerzas de su enlace se debilitan. Las moléculas del líquido crean un campo eléctrico de resultante contraria a la del formado por los iones y éste disminuye.

La constante dieléctrica es una medida de la polarizabilidad de sus moléculas, es decir, de su habilidad para deformarse y/o orientarse a sí mismas con el fin de «neutralizar» una carga localizada cerca de ellas. La constante dieléctrica del vacío ( $\epsilon_0$ ) es 1; la del aire 1,005.

**Contaminación:** Se produce cuando se encuentran sustancias provenientes de fuentes naturales o humanas en cantidades indeseables en el ambiente. La contaminación debida a fuentes naturales es muy inferior a la producida por el hombre.

**Contaminante:** Sustancia perjudicial que envenena o altera la pureza del medio ambiente. Los *pesticidas*, los efluentes industriales, las aguas residuales, el humo y los residuos radiactivos son algunos de los contaminantes más **comunes**. Es cualquier partícula o hecho que produce contaminación.

**Demanda biológica de oxígeno (DBO):** Es la capacidad total de una muestra de agua para consumir oxígeno mediante oxidación biológica. Se mide por la cantidad de oxígeno gaseoso que consume una determinada cantidad de agua durante un periodo de 5 días a 20°C.

**Depuración:** Acción de eliminar o limpiar una sustancia de lo que la perjudica o contamina.

**Depurador:** Dispositivo que retiene los contaminantes y los hace inofensivos.

**Desalinización:** \* Desalación. Conversión de las aguas salobres terrestres y del agua del mar en agua potable mediante la eliminación de sales.

\* También se denomina así al proceso que consiste en reducir la proporción de sales solubles que ciertos terrenos contienen en exceso para que puedan utilizarse en la agricultura.

**Desoxigenación:** Proceso mediante el cual el agua pierde oxígeno. Ocurre por ejemplo, cuando grandes cantidades de materia orgánica, como las que contie-

nen las aguas residuales, son vertidas al océano . La bacteria que descompone la materia orgánica consume el oxígeno que los peces y otros animales marinos, necesitan para sobrevivir.

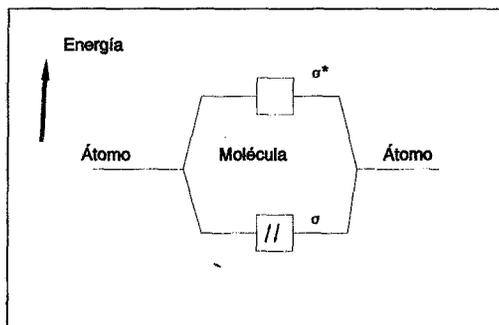
**Destilar:** 1) Filtrar el agua, hacer pasar el agua por un filtro. 2) Separar por medio del calor, en alambiques u otros vasos, una sustancia volátil de otras más fijas, enfriando luego su vapor para reducirla nuevamente a líquido.

**Destiladera o estiladera:** Aparato para filtrar el agua. Se le llama también **pila**. Suele constar de tres partes o compartimentos superpuestos. En el superior se halla la *pedra de destilar* ( Tenerife, La Palma) o *la pila* ( Gran Canaria, Lanzarote), especie de semiesfera de asperón ahondada, con un reborde para apoyarse en un bastidor que tiene la destiladrea. En el departamento del medio se encuentra en *bernegal*, vasija de barro, grande y de forma de tinaja achatada, dispuesta en un agujero redondo y de tamaño conveniente, que tiene la tabla o naquel que divide la destiladera en dos partes iguales. La parte inferior se emplea en algunos casos como fresquera para conservar en buen estado algunos comestibles. El agua que se pone en la piedra se filtra por ésta y va cayendo en el bernegal a través de un agujero que presenta en el centro el plato con que se le tapa para preservarlo de insectos. En la piedra, cuya superficie exterior se cubre de un barro negruzco donde arraiga fácilmente el **culantrillo** que cubre la parte inferior de ella con su verdor permanente.

**Detergentes:** Los modernos detergentes son mezclas de compuestos, el más importante de los cuales es el «agente de superficie» o «tensioactivo». Las moléculas de tensioactivo son moléculas orgánicas sintéticas que poseen un grupo hidrófilo y una cola hidrófoba. Los detergentes también contienen polifosfatos para secuestrar a los iones calcio y ajustar la acidez. Otros aditivos suelen ser fluorescentes (absorben luz ultravioleta y emiten luz visible) para dar la impresión de mayor limpieza.

Los jabones y detergentes modernos son una aplicación práctica del principio de que sustancias parecidas se disuelven entre sí.

**Diagrama de energía de OM:** La figura representa un diagrama de energía de orbitales moleculares.



Dos electrones en un orbital enlazante reducen la energía de una molécula. El orbital antienlazante  $\sigma^*$  corresponde a una mayor energía de la molécula en comparación con la energía de los átomos separados. y puesto que en él los electrones se encuentran fuera de la zona de enlace, tienden a romper el enlace separando a los átomos.

**Diagrama de fases:** Es un resumen en forma gráfica de las condiciones de presión y temperatura en las que las fases sólida, líquida y gaseosa de una sustancia existen.

Las líneas que separan las regiones en el diagrama de fases se llaman *límites de fases*. Los puntos sobre un límite de fase muestran las condiciones en las cuales están presentes en equilibrio dinámico las dos fases. Un ejemplo sería el punto C a 0°C y 1 atm sobre el diagrama de fases del agua. El límite de fase entre el líquido y el vapor, que muestra las presiones a las que el vapor y el líquido están en equilibrio, es por tanto una representación de la presión de vapor del líquido frente a la temperatura. El límite de fase entre el sólido y el vapor muestra la presión a la que el sólido está en equilibrio con su vapor y, por tanto, es una representación de la presión de vapor de sublimación del sólido.

**Diálisis:** Es la separación de pequeñas partículas de soluto de las partículas coloidales por medio de una membrana semipermeable.

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** Gas incoloro, incombustible y de olor ligeramente ácido.

Componente natural de la atmósfera en una pequeña cantidad (0,3 %) y elemento fundamental para las plantas que con el agua y la energía del sol sintetizan la materia orgánica. Es también un contaminante procedente de la quema de combustibles de vehículos y calefacciones. Actualmente se supone que está aumentando en la atmósfera, lo que podría tener efectos climáticos globales como un aumento de la temperatura por acción del llamado «efecto invernadero». En el importante ciclo del carbono integra la parte gaseosa del mismo. Es un perfecto ejemplo de los niveles de dosis: imprescindible para la vida puede ser mortal a mayores concentraciones.

**Ecosistema:** Conjunto formado por un territorio, las especies vivas que lo ocupan y las relaciones entre todos ellos.

También puede expresarse como el conjunto formado por un biotopo y la biocenosis que lo habita.

**Elemento químico:** Sustancia simple formada por átomos de la misma naturaleza, que no puede descomponerse en otros más sencillos por los medios químicos ordinarios.

**Embalse:** Represa para dar riego.

– Gran depósito que se forma artificialmente por lo común cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa, y en el que se almacenan las aguas de un río o arroyo, a fin de utilizarlas en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones, en la producción de energía eléctrica, etc.

– Retención de agua creada artificialmente mediante la construcción de una presa o azud, que sirve para almacenar el agua, a fin de utilizarla posteriormente para riego, abastecimientos a poblaciones o producción de energía eléctrica.

**Emisario:** Conducto o canal que recoge las aguas residuales a la salida de una ciudad y las vierte en la estación depuradora, en el mar o en un río.

**Eutrofización:** Proceso por el cual las aguas se enriquecen en nutrientes (nitratos y fosfatos de aportes urbanos e industriales); como consecuencia de ello, se produce un crecimiento espectacular de las algas. El lago, embalse o presa, adquiere una coloración verdosa debido a la cantidad de clorofila y de algas que allí viven. Las algas al morir van al fondo donde se descomponen, consumiendo todo el oxígeno y acabando con la vida acuática.

**Evaporación:** Paso de un líquido a gas o vapor. Es un proceso físico llamado cambio de estado.

**Fermentación:** Mediante la fermentación tienen lugar la rotura de las sustancias orgánicas por los organismos con la consiguiente liberación de energía. Es típica de las levaduras y bacterias que, en forma anaerobia, digieren los carbohidratos dando lugar a la formación de dióxido de carbono y alcohol u otros compuestos orgánicos.

**Fitoplancton:** *Plancton vegetal* o conjuntos vegetales del plancton. Son pequeñas plantas flotantes que crecen ahí donde la luz del sol penetra en el agua, en general, cerca de la superficie de los océanos. Realizan la fotosíntesis, mediante la cual consumen  $\text{CO}_2$ , y formas apropiadas de nitrógeno y fósforo, formando la materia orgánica de las plantas. Éstos forman la base de la cadena alimenticia para la vida biológica en los océanos.

**Fitotóxico:** Agente tóxico para los vegetales.

**Fosfatos:** Sales del ácido fosfórico. Tienen gran importancia como abonos. También se emplean como detergentes. Se extrae del suelo (origen animal o vegetal) y también se fabrican industrialmente.

**Fotodisociación:** Es la ruptura de una molécula en dos o más fragmentos neutrales como resultado de la absorción de la luz.

**Fotoionización:** Es la eliminación de un electrón, de un átomo o una molécula mediante absorción de la luz.

**Fotosíntesis:** Mecanismo biológico por el que las plantas verdes, con ayuda de la luz solar, transforman el agua y el dióxido de carbono en sustancias orgánicas y en oxígeno.

**Función de onda de Hartree-Fock:** En el período 1927-30 el físico inglés Hartree y el ruso Fock desarrollaron un procedimiento sistemático para encontrar las mejores formas posibles para los orbitales. Una función de onda variacional que sea un producto antisimetrizado de los orbitales óptimos se llaman **función de onda de Hartree-Fock**. Para cada estado de un sistema dado, hay una función de onda de Hartree-Fock única. Ellos demostraron que los orbitales  $\phi^i$  de Hartree-Fock satisfacían la ecuación:  $\hat{H}\phi_i = \epsilon_i \phi_i$  donde

$\phi_i$  es función de las tres coordenadas espaciales y  $\epsilon_i$  es la energía del orbital  $i$ . Aunque al principio se calculaban numéricamente, en 1951 Roothaan demostró que era mejor expresarlo como combinaciones lineales de un conjunto de funciones llamadas **funciones base** <sup>2</sup>.

**Gaia:** El globo terráqueo. El Planeta-Tierra.

**Galeria:** Especie de túnel o camino subterráneo, al modo de las minas, con el que se va profundizando en el interior de la tierra hasta encontrar afluencia de agua. Suelen tener 1,6 m de ancho por 1,8 m de alto.

**Gavia o Gabia:** Trozos de terrenos preparados entraste, sparados por camello-nes o surcos laterales para contener las agaus. En Lanzarote y Fuerteventura. trozos de terreno para plantar.

**Hábitat:** Medio en el cual vive una planta o animal.

**Hidraulicidad:** Relación entre las aportaciones dentro de un período observado y las aportaciones medias correspondientes a un mismo período a lo largo de una serie de años.

**Hidrosfera:** Envoltura acuosa de la Tierra constituida por las aguas de mares ríos y lagos.

**Higrocromos:** Estan formados por determinadas sustancias químicas sensibles a la humedad. Estos compuestos son higroscópicos y tienen la propiedad de cambiar de color según esten anhidros o hidratados, con ellos se impregnan determinados objetos que cambiarán de color según el grado de humedad de la atmósfera.

**Higrómetros:** Aparatos destinados a medir la humedad atmosférica, pueden ser de varios tipos según la propiedad en que se basa su construcción: *higrómetro de cabello*, determina directamente la humedad relativa; se fundamenta en la influencia que ejerce la humedad en la longitud del cabello humano. *Psicrómetro*, consta de dos termómetros uno de los cuales tiene el bulbo rodeado de una mecha que se mantiene húmeda, por lo que señalará una temperatura menor que el otro pues al avaporarse el agua ésta consume calor. Mediante unas tablas se calcula la humedad atmosférica en función del valor de la diferencia de temperatura entre ambos termómetros. Cuando los dos marcan la misma temperatura la humedad será del 100 %.

**Humedad atmosférica:** Expresa el contenido en vapor de agua de la atmósfera. La atmósfera contiene vapor de agua proporciones variables, esta cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera se puede expresar por medio de la *humedad absoluta* que indica la cantidad de vapor de agua por unidad de volumen en una muestra de aire. *La humedad relativa*, expresa la relación entre la cantidad de vapor de agua en una muestra de aire con respecto a la cantidad que podría contener si estuviese saturado a esa misma temperatura. Una humedad relativa del 100 % significa que el aire está saturado.

**Inepcia:** Calidad de necio. Necedad. Ineptitud.

<sup>2</sup> Tomado de LEVINE, I. N. (1991): *Físico Química*.. McGraw Hill. Madrid, pp. 760.

**Jabones:** Los jabones son sales de sodio de compuestos orgánicos con largas cadenas de hidrocarburo como el estearato de sodio; los podemos designar por NaA, donde HA es el ácido orgánico. Los aniones tienen un grupo polar (denominado «cabeza o grupo hidrófilo») en uno de los extremos de un grupo apolar de cadena larga, la cadena de hidrocarburo. Los aniones A<sup>-</sup> disuelven su parte apolar hidrocarbonada, y por tanto **hidrófoba** o repelente del agua, en una gota de grasa. Su parte **hidrófila**, o afín al agua, permanece en la superficie de la gota de grasa, cubriéndola con una capa de grupos polares con enlaces de hidrógeno. La cabeza polar permite que la grasa se disuelva en agua y sea arrastrada en el aclarado.

Un problema de los jabones es que forman un precipitado en agua dura, que es el producto de una reacción de precipitación que tiene lugar a causa de que las sales de calcio son menos solubles que las sales de sodio.

Una forma de evitar el problema es quitar los iones Ca del agua antes de utilizar el jabón. Esto puede hacerse añadiendo carbonato de sodio («sosa de lavado») al agua precipitando el carbonato de calcio.

Otra forma sería añadiendo al agua iones polifosfatos como componentes del detergente. Estos iones son grandes, rodean a los iones de calcio del agua dura y lo ocultan frente a otros iones con los cuales precipitarían normalmente.

Los jabones y detergentes modernos son una aplicación práctica del principio de que sustancias parecidas se disuelven entre sí.

**Litósfera:** Parte sólida de la Tierra.

**Lixiviación:** \* Procedimiento por el que se extrae el componente soluble de una sustancia utilizando el disolvente adecuado.

\* Arrastre por las aguas infiltradas de sustancias pertenecientes a un horizonte del suelo. Estas aguas que proceden generalmente de la lluvia se cargan de sustancias solubles y coloidales, privando de ellas al horizonte de acumulación. Según la índole de aquellas sustancias el fenómeno origina una descarbonatación, descalcificación, etc.

**Locuciones:** Combinación estable de dos o más palabras, que funcionan como oración o como elemento oracional, y cuyo sentido unitario no siempre se justifica, como suma del significado normal de los componentes.

**Manantial:** Producción natural de agua que brota de la tierra en forma de fuente. Nacimiento de las aguas. También: <sup>3</sup> Terreno con agua naciente en que se siembran ñames, y en él puede hacerse una fuente abriendo un hueco.

**Medio ambiente:** Condiciones químicas, físicas y biológicas que rodean un organismo. El medio ambiente integra las relaciones existentes entre el medio natural o biofísico y el medio artificial y sociopolítico. Engloba tanto al medio natural, como al medio modificado por el hombre, tanto los

---

<sup>3</sup> CORRALES, C.; CORBELLA, D. y ÁLVAREZ, M<sup>a</sup> A. (1992): *Tesoro lexicográfico del Español de Canarias*. Real Academia Española. Gobierno de Canarias. Madrid.

factores que inciden en el funcionamiento de los procesos naturales, como en el funcionamiento de las sociedades humanas. Es un sistema complejo de interacción de factores físicos, químicos, biológicos, sociales y culturales, con cuyo contacto se encuentran las colectividades humanas en una situación de acciones y reacciones recíprocas, interacciones, que ponen en juego todos los elementos del medio.

**Mercurio:** Es un *metal pesado* y es uno de los contaminantes tóxicos acumulables más estudiados («Por supuesto, después de haber provocado, muertes y desastres»), presente en el mar, por vertidos industriales, se concentra en los peces, en cantidades que llegan a ser mortales (se acumula en la *cadena alimentaria*). El compuesto orgánico de mercurio, metilmercurio se utiliza todavía en algunos países como herbicida, siendo muy venenoso para los vertebrados, descomponiéndose muy difícilmente.

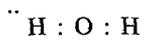
**Metabolismo:** Conjunto de transformaciones de materia y de energía que se producen en el interior de los seres vivos. El metabolismo se refiere al conjunto de todas las reacciones químicas que tienen lugar en un organismo vivo, tanto *anabólicas* como *catabólicas*. El metabolismo basal es el intercambio energético de un organismo en reposo.

El anabolismo es la síntesis de moléculas complejas a partir de otras más sencillas y que, juntamente con el catabolismo forman el metabolismo.

**Metales pesados:** Todos los metales con una densidad superior a 4,5 g/cc; suelen ser tóxicos y muy contaminantes, entre ellos cadmio, mercurio (componentes de las pilas), plomo, etc. Se eliminan y metabolizan mal en el seno de los ecosistemas, de ahí la importancia ambiental de sus vertidos y de las contaminaciones potenciales subsiguientes en el funcionamiento de las sociedades humanas. Es un sistema complejo de interacción de factores físicos, químicos, biológicos, sociales y culturales, con cuyo contacto se encuentran las colectividades humanas en una situación de acciones y reacciones recíprocas, interacciones, que ponen en juego todos los elementos del medio.

**Método VSEPR :** El método de repulsión de pares de electrones en las capas de valencia (VSEPR) es un método simple y razonablemente preciso para predecir formas moleculares. La geometría está determinada por el número de pares de electrones de valencia alrededor del átomo central de la molécula.

**Molécula de agua: Geometría.** Según el método VSEPR para la molécula de agua, la fórmula de puntos es



Se puede considerar que esos cuatro pares de electrones de valencia alrededor del átomo del oxígeno central residen en cuatro OM localizados. dos de los cuales son de par solitario y los otros dos enlazantes. La geometría más favorable es la que tiene a los cuatro OM localizados separados en el espacio lo más posible y esto ocurre cuando los cuatro OM apuntan a los vérti-

ces de un tetraedro (ángulo de enlace  $109^\circ$ . Si se tiene en cuenta que los OM localizados de par solitario en el agua no son exactamente equivalentes a los OM localizados enlazantes. Los electrones en cada OM enlazante están atraídos fuertemente por dos núcleos (el O y un H), mientras que los electrones en el OM de par solitario están atraídos fuertemente sólo por un núcleo (el O). De aquí que los OM de par solitario estarán más extendidos (más gordos) que los OM enlazantes y los pares de electrones en los OM de par solitario ejercerán repulsiones mayores que los pares en los OM enlazantes. Hemos de recordar el valor del ángulo entre los pares solitarios de energía localizada ( $114^\circ$ ) comparado con el ángulo de  $103^\circ$  entre los pares enlazantes de energía localizada. Los OM de par solitario más extendidos empujarán, por tanto, a los OM enlazantes entre sí, haciendo el ángulo de enlace un poco menor  $109.5^\circ$ . El ángulo experimental  $104,5^\circ$ .

**Momento dipolar:** El momento dipolar eléctrico está originado por la separación de las cargas positivas y negativas de las moléculas. Si una carga positiva y otra negativa de valor  $q$  ambas, están separadas por una distancia  $r$ , el momento dipolar  $D = q.r$ .

El momento dipolar de una molécula es la suma vectorial del momento dipolar de sus enlaces.

El momento dipolar que corresponde a un par de cargas opuestas e iguales, es el producto de la carga por la distancia que las separa. Suele medirse en unidades **Debye (D)** (en honor de Peter Debye.)  $1 D = 10^{-18}$  ues.cm.

1 ues de carga (unidad electrostática) es la carga de una partícula que, puesta en presencia de otra igual, a la distancia de 1cm, la atrae o la repele con una fuerza de una dina ( $10^{-5}$  N).

$1 C = 3.10^9$  ues.  $1D = 3,3 \cdot 10^{-30}$  C.m. La unidad en el SI del momento dipolar es **el culombiómetro (Cm)**.

La medida del momento dipolar nos da idea de la polaridad del enlace:

Momento dipolar = 0.....enlaces apolares.

Momento dipolar > 0.....enlaces polares.

Una molécula tienen un momento dipolar distinto de cero, si los centros efectivos de cargas positivas y negativas no coinciden.

La principal aplicación del momento dipolar es la determinación de las estructuras moleculares.

**Natero:** Huerto, cantero.

**Nivel freático:** Altura que alcanza la capa acuífera subterránea más superficial.

**Orbital:** Es una función de onda espacial de un electrón. De su forma se define como una superficie de densidad de probabilidad constante que encierra una gran parte de la probabilidad de encontrar al electrón. La densidad de probabilidad es  $|\psi|^2$ . Cuando es constante, también lo es  $|\psi|$ . Por consiguiente  $|\psi|$  es constante en la superficie de un orbital.

**Orbital atómico:** Es un orbital para un átomo.

**Orbital molecular:** Es una zona de una molécula en la que es probable en-

contrar a un electrón. Es un orbital para una molécula (OM). Es una combinación lineal de orbitales atómicos correspondientes a los átomos que forman la molécula. No es más que un nivel de energía correspondiente a la molécula, de forma similar a lo admitido para un orbital atómico (nivel de energía correspondiente al átomo).

Los principios fundamentales del enfoque del O.M. pueden resumirse en:

\* Los orbitales atómicos se combinan y originan orbitales moleculares siendo el número de los que se forman igual al de orbitales atómicos combinados.

\* Las energías de los O.M. podrían calcularse por medio de la **ecuación de onda de Schrödinger**. Esto sólo es posible, sin embargo, para moléculas muy simples.

\* Según se deduce del estudio energético de los O.M., por cada dos orbitales atómicos combinados se forman dos O.M., uno de más baja energía, (**orbital enlazante**), y otro de mayor energía, (**orbital antienlazante**).

**Orbital molecular antienlazante:** Es un orbital molecular, que si está ocupado, aumenta la energía y por tanto desestabiliza la molécula.

**Orbital molecular canónico:** Son OM deslocalizados que satisfacen las ecuaciones de Hartree-Fock. Son únicos.

**Orbital molecular enlazante:** Es un OM que si está ocupado disminuye la energía y por tanto estabiliza la molécula.

**Orbital molecular localizado:** Son los O.M. que abarcan solo dos núcleos. Cuando abarcan más de dos núcleos se denominan: **O.M. deslocalizados**. De los muchos conjuntos posibles de OM que se pueden formar, interesa hallar aquel conjunto que tenga cada OM clasificable como: un orbital enlazante(e) localizado entre los dos átomos, un orbital de capa interna (i), y un orbital de par solitario (l). A este conjunto se le llama **OM localizados**. Cada uno de ellos no tendrá la simetría de la molécula, pero los OM localizados se acercan bastante a la imagen del enlace que tiene un químico <sup>4</sup>.

**Orbital molecular de energía localizada:** Según Edmiston y Ruedenberg son aquellos orbitales moleculares.

ortogonales que minimizan el total de las repulsiones de Coulomb entre los varios pares de OM localizados considerados como distribuciones de carga en el espacio. En la mayoría de los casos están de acuerdo con lo que cabría esperar de las fórmulas de puntos de Lewis.

**Ósmosis:** Es el movimiento neto de moléculas de disolvente a través de una membrana semipermeable hacia la disolución que tiene una mayor concentración de soluto. La presión osmótica de una disolución es la presión que debe aplicarse a la disolución para detener la ósmosis del disolvente puro en la disolución. La presión osmótica debería ser una presión en el lado de la membrana en el que se encuentra la disolución más concentrada.

---

<sup>4</sup> Tomado de LEVINE, I. N. (1991): *Físico Química*. McGraw Hill. Madrid, p. 796.

**Ósmosis inversa:** Es la que tiene lugar cuando se aplica una presión mayor que la presión osmótica a la disolución que se halla a un lado de una membrana semipermeable, las moléculas de agua difunden a través de la membrana hacia el lado donde está el agua pura. Este principio se utiliza en la desalinización del agua del mar.

**Óxidos de Azufre:** Sustancias compuestas de azufre y oxígeno. Se liberan a la atmósfera como resultado de la quema de combustible, y contribuyen a la formación de *lluvia ácida* al convertirse en ácido sulfúrico y sulfatos en la atmósfera cuando se combinan con agua. Los mas conocidos son el dióxido de azufre y el trióxido de azufre.

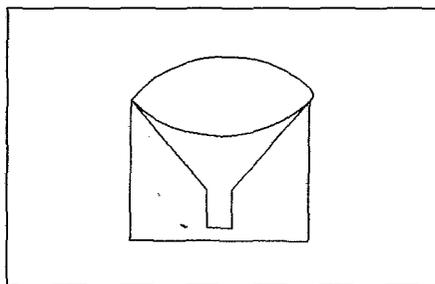
**Óxidos de nitrógeno:** Sustancias compuestas de nitrógeno y oxígeno. Se producen al quemar combustibles, y también se evaporan a partir de los fertilizantes que se utilizan en grandes cantidades en la agricultura actual. Ayudan a la formación de lluvia ácida, convirtiéndose en ácido nítrico en la atmósfera cuando se combinan con el agua. Los mas importantes son el  $N_2O$ ; NO y  $NO_2$ .

**Ozono:** Molécula de oxígeno formada por tres átomos. Es inestable por su elevado poder oxidante. En la estratosfera se forma por la acción de las radiaciones de muy corta longitud de onda sobre el oxígeno. Ejerce una acción germinicida sobre ciertos organismos bacterianos. Se ha utilizado durante mucho tiempo como agente purificador del agua.

**pH:** Parámetro que indica el grado de acidez de un medio. Son ácidas las soluciones cuyo pH está comprendido entre 0 y 7; alcalinas o básicas, las comprendidas entre 7 y 14 y neutras aquellas cuyo pH es 7.

**Plancton:** Conjunto de organismos que viven en suspensión en el seno de las aguas. Existen en el tanto animales (*zooplancton*) como vegetales (*fitoplancton*).

**Pluviómetro:** Aparato que se utiliza para medir la cantidad de agua que cae en un lugar determinado. Se expresa siempre por la altura que el agua caída alcanzaría en el suelo suponiendo que no se filtrara ni se evaporase. A veces se expresa también en litros por metro cuadrado.



Es interesante recordar que si un litro de agua se esparciera sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado alcanzaría la altura de un milímetro, es decir, 1 litro / m<sup>2</sup> ó 1 mm de lluvia son dos expresiones equivalentes a la hora de expresar el agua caída.

$$1 \text{ m}^2 \times 0,001 \text{ m} = 0,001 \text{ m}^3 = 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ litro de agua}$$

El pluviómetro es un aparato cilíndrico cuya boca tiene unos 200 cm<sup>2</sup> de superficie. El agua cae en él por un embudo. Se instala universalmente sobre un soporte de forma que su boca debe quedar a metro y medio de altura del suelo alejado de árboles o edificios para que en caso de que la lluvia caiga inclinada por efecto del viento, no sean obstáculo para su recogida.

Es fácil construir uno utilizando una botella, un embudo y una probeta. Una vez recogida el agua se mide con la probeta. Debe hacerse la proporción entre la superficie del embudo y el agua medida.

C= volumen de agua en litros / superficie en metros cuadrados.

En los que se adquieren en el mercado ya están calibrados de forma que sólo hay que leer en la escala y nos expresa directamente los milímetros de lluvia caídos.

**Pluviógrafo:** Es un pluviómetro que registra automáticamente en una banda la intensidad de la precipitación y el momento en que se produjo.

**PNUMA:** Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Nacido a partir de la Conferencia de Estocolmo (1972) con sede en Nairobi (Nigeria).

**p.p.m. o bien ppm:** Partes por millón. Unidad de concentración que se usa para dar los resultados de los análisis en los que un componente se encuentra en muy pequeña cantidad, aunque su efecto puede ser importante. Se refiere a 1 parte del componente por volumen en un 1 millón de unidades del volumen total.

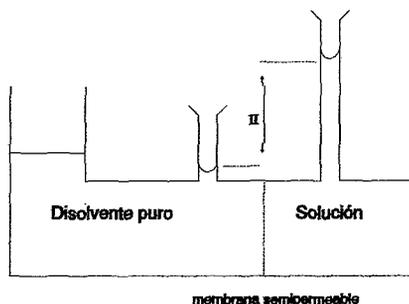
**Pozo:** Perforación vertical que se hace en la tierra hasta hallar el depósito de agua. La profundidad media en Gran canaria es de 90 metros.

**Presa:** Obra realizada en el cauce de un río, y que sirve para contener el agua embalsándola y regulando las crecidas. La construcción de una presa supone la creación de un desnivel importante entre las cotas de agua, anterior y posterior a la misma.

**Presión atmosférica:** Presión que se ejerce contra los cuerpos sumergidos en la atmósfera, como resultado del peso y el movimiento de las moléculas de los gases atmosféricos. Al nivel del mar, la presión atmosférica es de unos 760 mm de mercurio lo que es equivalente a 1.013 milibares o 101 kilopascals. A nivel del mar alcanza su valor máximo y va disminuyendo progresivamente a medida que se asciende. La presión atmosférica se ejerce en todas las direcciones; por ello sus efectos quedan compensados y no nos sentimos aplastados por ella.

**Presión osmótica:** Si se separa una solución de una muestra de disolvente puro mediante una membrana semipermeable (que permite que pasen moléculas del disolvente a través de ella), el disolvente se moverá hacia la solución tratada.

do de igualar la concewntración en los dos lados de la membrana. Si consideramos que el recipiente está cerrado excepto por un tubo de extensión en la parte superior, el disolvente que entra forzar4 a parte de la soluci3n hacia el tubo de extensi3n. El peso de la soluci3n en el tubo ejercer4 una presi3n descendente que tender4 a oponerse a la penetraci3n de m4s disolvente. Cuando se equilibran estas dos fuerzas no entra m4s disolvente. Estas dos fuerzas son el peso de la columna hidrost4tica de la soluci3n en el tubo y la fuerza impulsora que tiende a igualar las concentraciones de los dos lados de la membrana. La columna hidrost4tica en este punto de equilibrio se llama *presi3n osm3tica* de la soluci3n. Se mide en atm3sferas, pascal o torr



**Principio de Arqu4mides:** Un cuerpo inmerso recibe un empuje ascendente cuyo valor es igual al peso del fluido desalojado.

**Principio de flotaci3n:** Un cuerpo que flota desaloja un peso de fluido igual a su propio peso.

**Punto de congelaci3n:** El punto de fusi3n «normal» ( $T_f$ ) de un lquido es la temperatura a la cual congela a la presi3n de una atm3sfera. A mayor presi3n, la mayor4a de los lquidos congelan a temperaturas superiores. Esto puede explicarse porque la presi3n mantiene unidas a las mol3culas, reduciendo su separaci3n y atray3ndose mutuamente con m4s fuerza. El efecto de la presi3n es generalmente bastante peque1o a menos que la presi3n sea muy grande.

**Punto triple:** Es el punto donde se encuentran los tres l4mites de fases. El punto triple de una sustancia es una propiedad fija caracter4stica e indica la menor temperatura a la que puede existir el lquido.

**El punto de hielo** se da a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , es la temperatura de equilibrio de hielo y agua lquida **saturada de aire a 1 atm3sfera de presi3n.**

**Redes tr3ficas:** Conjunto de especies vivas tanto animales como vegetales, que se alimentan unas de otras y que son por tanto interdependientes. En un extremo de la cadena suelen estar los vegetales y en el otro los superdepredadores y los carro1eros. Se emplea mucho tambi3n el nombre de cadena tr3fica.

**Salinidad:** Es una medida del contenido en sal del agua del mar, de las aguas ricas en sal o de las aguas salobres. Es igual al peso en gramos de las sales disueltas que se encuentran presentes en 1 kg de dichas aguas.

**Solubilidad:** Es la cantidad máxima de soluto que puede disolverse en un volumen determinado de disolvente, en otras palabras, a la concentración de la disolución saturada.

La solubilidad depende de la temperatura y normalmente, aumenta con ella. Está ligada al calor de disolución o calor absorbido o desprendido cuando se disuelve el sólido.

La solubilidad de los sólidos y líquidos en solventes líquidos es prácticamente independiente de la presión.

**Solvatación:** Es la agrupación de moléculas de solvente alrededor de una partícula de soluto. Cuando el solvente es agua esta agrupación se conoce como **hidratación**.

**Temperatura crítica:** de una sustancia es la temperatura por encima de la cual no puede existir en estado líquido.

**Tensión superficial:** Fuerza de contracción molecular que tiende a reducir a un mínimo la superficie de un líquido; sus efectos se observan en fenómenos como la capilaridad, la forma esférica que toman las gotitas de agua o las pompas de jabón, la pequeña elevación de los bordes del agua en un vaso de vidrio, etc.

**Tomadero:** Se llaman **tomaderos** a los depósitos naturales de agua de lluvia. Son zanjas para encauzar las aguas pluviales hacia los barrancos y evitar que hagan daño en las tierras de labor y en los campos.

**Turbina:** Elemento mecánico que se encarga de transformar la energía cinética y potencial del agua en energía mecánica de rotación transmitida a un eje.

**Viscosidad ( $\eta$ ):** Propiedad de ciertos líquidos, debida al frotamiento de sus moléculas de resistir la dirección de su movimiento, como efecto combinado de la adhesión y la cohesión y que transforma la energía cinética en calorífica; es lo contrario de la fluidez; tiene importancia en los aceites lubricantes. Se gradúa por la velocidad de salida de los líquidos a través de tubos capilares.

**Zona fotosintética:** Es la región del océano que se extiende desde la superficie hasta una profundidad de aproximadamente 150 m, en la que se produce el crecimiento fotosintético del fitoplancton.

**Zooplancton:** *Plancton* animal o conjunto de los organismos animales del plancton. Se alimentan del *fitoplancton*.

## ANEXO II

# UTILIZACIÓN DEL CONTEXTO PARA EL ESTUDIO DE CONTENIDOS CIENTÍFICOS

Dentro de los variados recursos que el profesorado puede utilizar para planificar y desarrollar las actividades de enseñanza y aprendizaje, consideramos que las visitas didácticas son fundamentales ya que permiten la conexión de los conceptos teóricos desarrollados o a desarrollar en el aula con situaciones reales (Martínez, Mato y Repetto, 1994). Igualmente, si son utilizadas de forma adecuada posibilitan el desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje significativo y funcional, en la línea del modelo de construcción de conocimiento (Driver, 1986, 1988; Hewson y Thorkey, 1989; Gil, 1983), que tiene en cuenta, no solo las concepciones, sino también las actitudes y los intereses del alumnado. Al hacer posible una transferencia del aprendizaje a otros contextos y a múltiples situaciones relacionadas con la vida diaria; proporciona un medio adecuado que faculta, por un lado, la vinculación de los contenidos científicos con sus aplicaciones técnicas y sociales y, por otro, contribuye a desarrollar una ciencia más acorde con las necesidades e intereses del alumnado. Desde esta perspectiva, se pretenden utilizar las visitas a diversos entornos naturales, fábricas, centros industriales, institutos y centros de investigación, para aplicar en situaciones específicas los conceptos de la ciencia (sobre todo, aquellos que utiliza la tecnología) rebajando así su nivel de abstracción (Layton, 1988). Por ello, se abordan entre otros, aquellos problemas técnicos o sociales que son verdaderamente relevantes para el alumnado y se promueve la apertura de la ciencia impartida en el aula al medio social en que se encuentran los estudiantes (Penick y Yager, 1986), mediante las visitas a fábricas, museos de la ciencia, complejos de interés tecnológico, extendiendo, también la formación a las empresas y centros de trabajo.

Una visita didáctica en general, tiene como objetivo fundamental la conexión de los procesos analizados o realizados en el aula con situaciones reales de la vida del alumno.

El desarrollo incluye una serie de tareas a llevar a cabo tanto por parte del profesor como por los grupos de alumnos:

## Actividades del profesor

### A) *Previas a la visita*

- Fundamentar claramente la finalidad de la visita:
  - Determinar los objetivos que pueden conseguirse.
  - Establecer qué contenidos se van a trabajar.
  - Cómo motivar a sus alumnos.
  - Estudiar posibles itinerarios o zonas.
  - Elaborar la guía de actividades en la que se indique, entre otros:
    - El material que han de llevar .
    - Qué materiales o muestras han de recoger.
    - Observaciones a realizar.
  - Informar a los alumnos de la finalidad de la salida, así como ultimar los preparativos necesarios.

### B) *Durante la visita*

- Acompañar a los estudiantes procurando que se sigan las indicaciones dadas en la preparación de la misma.

### C) *Posteriores a la visita*

- Presidir las reuniones con cada grupo a fin de discutir los informes de las actividades diseñadas para cada uno de ellos, aclarar las dudas y establecer, en su caso, las posibles actividades complementarias necesarias para la correcta asimilación de los diversos contenidos.
- Guiar la realización de las actividades diseñadas.
- Elegir un secretario que tome notas al objeto de sacar conclusiones y un moderador que dé el turno de palabra.
- Coordinar la puesta en común - debate de todos los grupos con objeto de garantizar su grado de participación y la corrección de los argumentos y conclusiones que se establezcan.
- Evaluar el desarrollo de la visita teniendo en cuenta tanto los fac-

tores organizativos como los resultados obtenidos y el trabajo llevado a cabo por los alumnos así como el aprendizaje logrado.

## Actividades de los alumnos

### A) *Previas a la visita*

- Decidir, con la ayuda del profesor, los factores que se van a estudiar.
  - Discutir el itinerario a seguir: elaboración de un plano-guía donde se señalen los edificios, paisajes, monumentos y otros lugares de interés que se crea conveniente observar y analizar.
- Realizar consultas bibliográficas para investigar el fundamento físico, químico o biológico del/los procesos que tienen lugar en las factorías, industrias, depuradoras, fábricas..., que vaya a visitarse
- Distribuirse dentro de los grupos las tareas a realizar por cada uno.
- Elaborar encuestas o cuestionario dirigidos a la persona encargada de dar información o guiar la visita.

### B) *Durante la visita*

En general, se siguen las pautas dadas durante la preparación de la misma.

- En las industrias locales u otras entidades seleccionadas se investiga sobre:
  - Las razones para su emplazamiento
  - Los productos que fabrican. Materia prima que se utiliza y su procedencia.
  - Los procesos físicos, químicos o biológicos implicados en la fabricación de los productos.
  - Las características de las diversas instalaciones: situación, historia, rendimiento....
  - Estudio económico del proceso, coste de producción y beneficios.
  - Las causas de contaminación y mecanismos de control.
  - Estudio de los aspectos sociales: puestos de trabajo, capacitación requerida, etc.
  - Igualmente de deben cumplimentar las encuestas.

### C) *Después de la visita*

- Organizar y clasificar tanto el material como las informaciones recopiladas.
- Realizar posters, maquetas, montajes experimentales, etc. en relación con los hechos o procesos observados.
- Efectuar las actividades propuestas.
- Elaborar, en pequeño grupo, un informe y señalar las conclusiones pertinentes.
- Estudio de los procesos físicos, químicos y biológicos que intervienen.
- Celebrar una reunión con el profesor para debatir el informe, antes de proceder a la puesta en común en gran grupo.
- Confeccionar un dossier con los contenidos implicados.
- Usando toda la información que se ha obtenido elaborar un dossier.

### **Evaluación**

La evaluación se lleva a cabo mediante la observación sistemática del proceder de los alumnos, la calificación tanto de las actividades como del informe elaborado, de la participación en la puesta en común, debate que se efectúa tanto después de la visita como al finalizar la unidad y finalmente del grado de dominio de los conocimientos científicos inherentes a los fenómenos estudiados.

A título de ejemplo presentamos a continuación la «**Guía Didáctica**» elaborada para la visita llevada a cabo a las instalaciones de la Planta Depuradora de aguas residuales (Barranco Seco II).

## VISITA A LA PLANTA DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (BARRANCO SECO II)

### INTRODUCCIÓN

Esta **GUÍA DIDÁCTICA** es uno de los materiales elaborados en el desarrollo del proyecto de Investigación: *Las visitas didácticas como contexto para la enseñanza de las Ciencias*, subvencionado por la Consejera de Educación para la mejora de la docencia universitaria y concedido para su ejecución en el año 1995.

Nuestra hipótesis de partida es que una visita didáctica, puede utilizarse como recurso y contexto para desarrollar algunos de los contenidos implicados en el nivel educativo para el que se planifica, al permitir llevar a cabo diversas actividades que orientan el aprendizaje de los estudiantes, de tal forma que se promueva y mantenga el interés del alumnado por el aprendizaje de los contenidos de ciencias. En este caso, se planifica la observación y el análisis de cómo una planta de tratamiento de aguas residuales, de gran importancia no sólo en el ámbito ecológico sino también en el económico de las Islas Canarias, utiliza determinados procesos físicos, químicos, bioquímicos y tecnológicos en la depuración del agua.

A título orientativo, en esta guía, se indican algunos de los objetivos y contenidos, que pueden lograrse con la visita a esta Planta Depuradora. Igualmente, se hace una descripción de las instalaciones de la planta con objeto de que el profesor conozca, en líneas generales, su funcionamiento. Por último, se sugiere la metodología a seguir y se incluyen una serie de pautas para la planificación de la visita por parte del profesor y una serie de fichas sobre posibles actividades a realizar por el alumno, de tal forma, que el profesor pueda seleccionar aquellas que considera más adecuadas, según los contenidos de la disciplina y la planificación y utilización de este recurso didáctico.

### I. OBJETIVOS

La visita a la Estación Depuradora de Aguas Residuales, se utiliza a modo de contexto interactivo a través del cual se pueden adquirir conte-

nidos relacionados con las materias de Física, Biología y Química en Primer Ciclo Universitario, tanto de las distintas titulaciones técnicas y de ciencias básicas, así como de los estudios de Ciencias del Mar y en las titulaciones de maestro.

Entre los objetivos que se pueden alcanzar con el desarrollo de esta visita se indican como más significativos los siguientes:

- Promover la consulta de forma organizada y sistemática de diferentes fuentes de información.
- Reconocer y observar la aplicación industrial de distintos procesos físico-químicos.
- Utilizar aparatos sencillos para determinar parámetros físicos y químicos.
- Aplicar y desarrollar contenidos físico-químicos relacionados con el estudio del agua, los procesos de contaminación y los de su depuración, así como con las estrategias de control de dicha contaminación.
- Analizar y practicar procedimientos de laboratorio y comparar con los tratamientos industriales.
- Contextualizar el estudio de diferentes elementos y compuestos químicos a partir de sus aplicaciones y/o tecnológicas.
- Establecer la influencia de las características físico químicas del agua en los procesos de depuración.
- Plantear y desarrollar pequeñas investigaciones
- Practicar técnicas de registro, organización e interpretación de datos.
- Fomentar el interés y la curiosidad por conocer las implicaciones de la ciencia en el desarrollo tecnológico y en la sociedad.
- Planificar entrevistas para la recogida de información (diseño de cuestionario formulación, recogida,...etc)
- Realizar informes científicos siguiendo pautas.
- Practicar estrategias de trabajo en equipo.

## II. CONTENIDOS

Los contenidos que se pueden abordar difieren, lógicamente, según las distintas titulaciones, no obstante, muchos de ellos, prácticamente, son comunes, aunque abordados con diferente profundidad. En lo que sigue y a título orientativo se indican algunos de los que podrían desarrollarse.

CONTENIDOS	CONTEXTOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>DISOLUCIONES</b></li> <li>- Disoluciones líquidas moleculares.</li> <li>- Disolución de gases en líquidos: influencia de la P y la T.</li> <li>- Concentración de las disoluciones.</li> <li>- Ósmosis. Presión osmótica.</li> <li>- Disolución de electrolitos.</li> <li>- Teoría de Arrhenius de la disociación electrolítica.</li> <li>- Conductividad de las disoluciones.</li> <li>- Suspensiones.</li> <li>- Disoluciones coloidales.</li> <li>• <b>REACTIVIDAD QUÍMICA</b></li> <li>- Ecuaciones químicas y cálculos estequiométricos.</li> <li>- Aspectos energéticos de las reacciones químicas.</li> <li>- Equilibrio químico: Factores que influyen.</li> <li>- Cinética de las reacciones químicas: Factores que influyen.</li> <li>- Catálisis.</li> <li>• <b>REACCIONES IÓNICAS EN DISOLUCIÓN</b></li> <li>- Reacciones ácido-base.</li> <li>- Reacciones de oxidación-reducción.</li> <li>- Reacciones de Precipitación.</li> <li>• <b>QUÍMICA DE ELEMENTOS NO METÁLICOS Y SUS COMPUESTOS</b></li> <li>- Estructura propiedades y utilización social o industrial de los elementos: oxígeno, cloro, nitrógeno, azufre, fósforo y compuestos.</li> <li>- Ciclo biogeoquímico de los elementos: oxígeno, nitrógeno, azufre.</li> <li>• <b>REACCIONES QUÍMICAS METABÓLICAS</b></li> <li>- Bases termodinámicas, microbiológicas y cinéticas de los procesos anaerobios y aerobios para la depuración de aguas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disolución de componentes en el agua natural y en aguas residuales.</li> <li>• Aireación del agua para tratamientos aerobios de aguas residuales (oxigenación del agua).</li> <li>• Tratamientos para precipitar partículas en suspensión y coloides.</li> <li>• Medidas de conductividad para la determinación de la salinidad de aguas residuales y depuradas.</li> <li>• Cloración del agua para su desinfección.</li> <li>• Retención de virus por filtrado.</li> <li>• Determinaciones analíticas de los componentes presentes en aguas potables, residuales y depuradas.</li> <li>• Determinación del PH de aguas potables, contaminadas y depuradas.</li> <li>• Depuración aerobia del agua.</li> <li>• Transformaciones anaeróbicas en el fango. Obtención de gas metano.</li> <li>• Los lodos residuales como fertilizantes.</li> </ul>

### III. METODOLOGÍA

La metodología a seguir contempla tanto para el profesor como para el alumno tres fases bien diferenciadas: a) Preparación de la visita. b) Desarrollo de la visita y c) Tratamientos posteriores a la visita.

En cada una de estas fases se desarrollan unas actividades concretas, relacionadas con los contenidos que se desean abordar. En líneas generales, se exponen a continuación una serie de pautas y tareas específicas que han de llevar a cabo tanto los profesores como los alumnos, dando respuesta a los requisitos que debe cumplir un recurso para que sea eficaz:

- Estar incluido dentro de la planificación didáctica para el tratamiento de los contenidos de la asignatura.
- Que el profesor conozca previamente el lugar a visitar.
- Que facilite la investigación por parte del alumnado.

#### **Actividades del profesor**

##### *A) Previas a la visita*

- Documentarse sobre los procesos que se llevan a cabo en la depuración de aguas residuales.
- Establecer qué contenidos del programa se van a trabajar.
- Buscar estrategias de motivación.
- Informar a los alumnos sobre los objetivos de la visita
- Elaborar la guía de actividades en la que se indique:
  - El material que han de llevar
  - Qué materiales o muestras han de recoger.
  - Observaciones a realizar.
- Diseñar las directrices que sirvan de guía a los alumnos para vincular los diferentes elementos y procesos con los aspectos específicos a estudiar.

##### *B) Durante la visita*

- Acompañar a los estudiantes procurando que se sigan las indicaciones dadas en la preparación de la misma.

- Orientar y canalizar la atención de los alumnos hacia aspectos relevantes que puedan pasar desapercibidos.
- Resolver las dudas que se planteen «in situ».

### C) *Posteriores a la visita*

- Presidir las reuniones con cada grupo a fin de discutir los informes de las actividades diseñadas para cada uno de ellos, aclarar las dudas y establecer, en su caso, las posibles actividades complementarias necesarias para la correcta asimilación de los diversos contenidos.
- Guiar la realización de las actividades diseñadas.
- Coordinar la puesta en común - debate de todos los grupos con objeto de garantizar su grado de participación y la corrección de los argumentos y conclusiones que se establezcan.
- Evaluar el desarrollo de la visita teniendo en cuenta tanto los factores organizativos como los resultados obtenidos y el trabajo llevado a cabo por los alumnos así como el aprendizaje logrado.

## Orientaciones didácticas

I) Una buena preparación de la visita es fundamental para que esta actividad sea efectiva bajo el punto de vista del aprendizaje de los alumnos. Esto requiere que el/los profesor/es encargado/s de los grupos de estudiantes que cursan esta asignatura, deben realizar previamente una o varias visitas al «Centro» para recorrerlo detalladamente, cambiar impresiones con los encargados de la misma si los hubiera, con objeto de poder elegir los aspectos que consideren más interesantes para que los estudien sus alumnos y en consecuencia preparar el itinerario, las pautas de observación, las actividades que conviene realizar durante la misma y las que se dejan para desarrollar en el aula, así como las correspondientes fichas de trabajo.

II) Antes de salir, es conveniente que se distribuya a cada grupo de estudiantes los materiales que van a necesitar para el desarrollo de las diferentes actividades planificadas: croquis de la planta, lápices de colo-

res, rotuladores, cuaderno de notas, frascos para posibles muestras, grabadora, máquinas fotográficas, cámaras de vídeo, etc. Es conveniente recordar a los alumnos la necesidad de no olvidar «la guía de actividades» en la que han estado trabajando para la preparación de la visita y que tendrán que utilizar durante el desarrollo de la misma.

**III)** Existe bastante dificultad para que algunos grupos sean capaces de establecer relaciones entre las actividades fuera y dentro del aula por los cambios que puedan hacerse en los utensilios o aparatos que se emplean, por ello, consideramos muy interesante que en la puesta en común que se lleva a cabo al finalizar las actividades para después de la visita se haga hincapié en este aspecto.

**IV)** La preparación de reactivos puede hacerla el profesor o bien asignar a los distintos grupos de alumnos como experiencia previa, la realización, entre todos los grupos, de aquellos que se vayan a utilizar en las experiencias previstas. Con ello, se consigue ahorrar tiempo y que los alumnos actualicen sus conocimientos sobre preparación de disoluciones y los apliquen prácticamente, de esta forma se logra homogeneizar los conocimientos iniciales básicos para el desarrollo de la mayoría de las experiencias planificadas.

**V)** Es interesante que se acostumbre al alumno a la confección de fichas que le ayuden a sistematizar los conceptos más relevantes de un tema. En el análisis de los textos que figuran en la guía de actividades del alumno, se muestra una que puede servir de ejemplo.

**VI)** La Historia de la ciencia y las noticias de actualidad científica, así como las noticias que en las que están implicados algunos temas de trabajo en el aula, constituyen excelentes recursos que el profesor puede y debe aprovechar, para producir un acercamiento entre el conocimiento científico, el del aula y el cotidiano o en la línea de una aproximación a la comprensión de las interrelaciones ente la ciencia, la técnica y la sociedad. En este sentido, en las actividades propuestas se indican algunas ejemplos de utilización de estos recursos, en el caso de la teoría de Arrhenius y algunas noticias aparecidas en la prensa local. Queda, pues, abierta a la iniciativa del profesor la utilización de otras que puede considerar oportunas en el estudio que se está tratando.

**VII)** En las fichas de trabajo para el alumno aparecen una serie de propuesta de actividades de diverso tipo, de tal forma que con ellas se va dando cabida a diversos aspectos de la actividad científica y no sólo el puramente experimental; ya que, hemos de pensar que no se debe reducir la complejidad del trabajo científico a la ejecución mecánica de recetas de laboratorio. Sin embargo, el profesor tiene que tener en cuenta la disposición temporal, ese es su «reto», de modo que en un intento de coordinar estos aspectos pueda llegar a la aproximación, lo más efectiva posible, al desarrollo de un trabajo científico por parte de los alumnos.

Por ello, en las fichas aparecen actividades de: resolución de problemas tanto teóricos como de lápiz y papel o planteados como pequeñas investigaciones; consultas a fuentes de información, emisión de hipótesis, diseños experimentales, desarrollo de experiencias; justificación científica de algunos procesos, etc.. a las que titulamos «cuestiones doctoras», porque su misión es guiar el aprendizaje de los alumnos. Éstas sugieren determinadas formas de actuar y pretenden conducir al alumno hacia una determinada reflexión o a un razonamiento coherente con los procesos científicos, de tal forma que se acostumbren a identificar al trabajo científico como algo más complejo que la simple experimentación.

**VII)** Es muy importante que los alumnos desarrollen las actividades necesarias para cumplimentar las cuestiones a fin de que puedan discutir las en la «puesta en común». Es en estos procesos de reestructuración y/o aplicación de ideas y en los de transferencia de aprendizajes a nuevas situaciones sobre todo relacionadas con la vida diaria, donde realmente se desarrolla el verdadero aprendizaje.

**VIII)** Se intenta que el alumno vea que la construcción de su conocimiento científico es fruto tanto de su trabajo personal, organizado y reflexivo, en el que interviene también el trabajo en grupo, el intercambio de ideas y la discusión de resultados con el resto de los compañeros, todo ello guiado por el profesor. Asimismo, se debe habituar al alumno a considerar la integración del estudio realizado, estimando su contribución a la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos y las posibles implicaciones con otros campos del saber.

#### IV. CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN DEPURADORA DE BARRANCO SECO

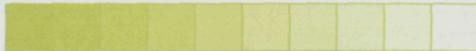
El Consorcio Insular de aprovechamiento de aguas depuradas de Gran Canaria, gestiona la explotación de diferentes depuradoras que existen en esta Isla, entre las que se encuentra la planta de Barranco Seco II, cuyas instalaciones se pretenden visitar. Dispone también, como es lógico, de redes de distribución que son capaces de hacer llegar el agua depurada a **diferentes lugares de la Isla de Gran Canaria.**

La estación depuradora de Barranco Seco II, constituye la primera experiencia en Canarias de plantas de tratamiento de aguas residuales donde se aplica el método conocido como I+ II de doble etapa, de amplia aceptación en toda Europa. Se encuentra emplazada a la salida de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, en el kilómetro 2 de la carretera general del Centro, a una cota de 65 metros, relativamente cerca del centro colector de todas las aguas negras procedentes tanto de la lluvia como de las viviendas familiares y de las industrias, denominado Estación de Bombeo ubicado cerca del Teatro Pérez Galdós.

Desde ella puede distribuirse fácilmente el agua a la tierras de cultivo de las medianías. La zona posee además un suelo impermeable y baja



Fig. 1. Vista general de la planta.



densidad de población. Por último hemos de resaltar que al encontrarse situada en el fondo del barranco puede aprovecharse la caída natural del agua por gravedad.

Es una planta nueva ya que lleva en funcionamiento desde julio de 1994. La capacidad de depuración está prevista para un caudal de 400 a 600 l/s.

Consta, actualmente, de dos líneas de agua, estando en proyecto una tercera; una línea de fango y una línea de gas.

El número de personas que trabajan en ella, es bajo debido a que todo el proceso está bajo control informatizado.

#### **IV. 1. ETAPAS DEL PROCESO DE DEPURACIÓN**

En la planta depuradora de aguas residuales se llevan a cabo una serie de tratamientos físicos, químicos y bioquímicos, así como determinaciones analíticas, que es necesario considerar para planificar las estrategias o actividades de enseñanza-aprendizaje, que incluyan el tratamiento y aplicaciones de los distintos contenidos científicos del programa, del nivel que se imparte. A modo de orientación, se indican o se citan brevemente los principales procesos y determinaciones analíticas que se llevan a cabo de forma, que el profesor pueda establecer correlación con los distintos contenidos implicados en su materia y decidir cuáles o qué aspectos concretos le interesa trabajar y en que grado de extensión.

##### **1.1. Tratamiento primario y determinación del grado de salinidad**

Las aguas residuales llegan a la Estación de Bombeo del Teatro que está totalmente enterrada, disponiéndose la parte superior como estación de bombeo de aguas. En ella, las aguas pasan a través de unos filtros que separan las grasas y los sólidos de mayor tamaño. Una vez realizado este tratamiento se mide su conductividad por medio de un conductímetro provisto de una sonda que va al depósito de recogida de aguas. Esto es necesario para determinar el grado de salinidad del agua, ya que un valor alto de conductividad implica una elevada salinidad lo que impide su reutilización, una vez purificada, y por tanto, hay que desecharla.

Los valores de conductividad son enviados directamente a un ordenador, el cual registra gráficamente los valores de conductividad en mili-siemens por centímetro (ms/cm) para los distintos caudales de agua recibidos a lo largo del día. La gráfica I muestra, el caudal de agua recibido, en litros por segundo, a lo largo de las distintas horas de un día.

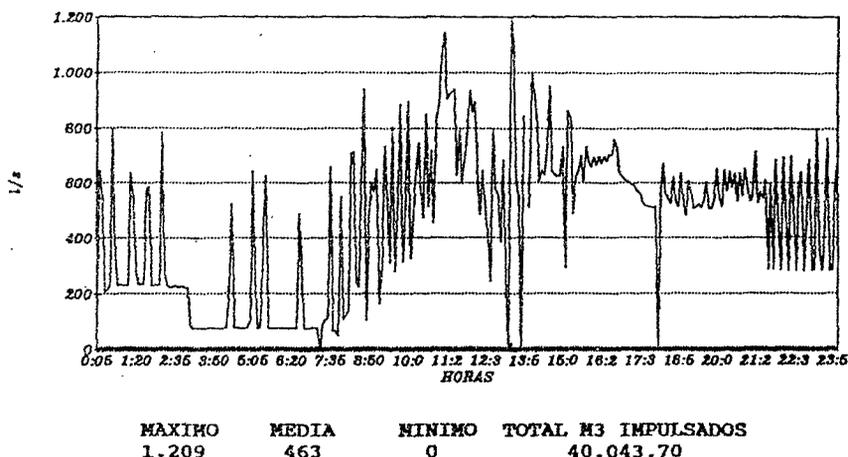
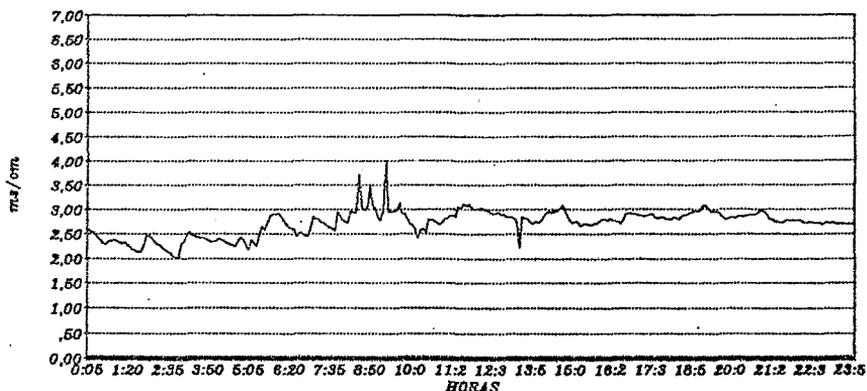


Fig. 2. GRÁFICA I (Total de M<sup>3</sup> impulsados en la estación de bombeo del Teatro durante un día).

El ordenador registra los valores de conductividad y los expresa gráficamente en términos de salinidad (Gráfica II), en el mismo período de tiempo.

Para que el agua pueda ser depurada, con vistas a su reutilización, el valor máximo de conductividad, es de 3 mili-siemens por centímetro. Cuando el ordenador registra valores por debajo o iguales a estos, automáticamente pone en funcionamiento el bombeo de agua para someterla a la cadena de procesos depuradores. Para niveles de salinidad superiores a 3 ms/cm, o cuando hay un exceso de agua, se somete a ésta a un único tratamiento biológico y decantador y se bombea hacia el emisario para echarla al mar. El emisario es un tubo submarino de polietileno (de alta densidad) de aproximadamente 1 m de diámetro, con salida a unos 2 Km de la costa y colocado a unos 45 m de profundidad.



MAXIMO	MEDIA	MINIMO
4,0	2,7	2,03

Fig. 3. GRÁFICA II (salinidad del agua).

## 1.2. La línea de agua

El agua cuya salinidad es apropiada para poderse reutilizar se somete a la cadena de procesos depuradores que constituye la llamada línea de agua. El sistema de depuración empleado para la línea de agua es un procedimiento en doble etapa. Las unidades que componen esta línea son básicamente: *dos balsas de aireación y dos decantadoras* para cada una de las etapas.

Al entrar en la planta, el agua es sometida a un tratamiento previo consistente en eliminar materiales sólidos de menor tamaño y grasas que no fueron eliminados en la Estación de Bombeo para ello la corriente líquida pasa a través de los **separadores**, formados por unas rejillas y un peine.

### 1.2.1. Determinaciones analíticas en la línea de agua

Con objeto de controlar al máximo la pureza y calidad del agua con vistas a su reutilización, se realizan una serie de determinaciones analíticas, tanto al principio del proceso como a lo largo del mismo y a su término. Los parámetros evaluados además de la salinidad son: pH, con-

ductividad, materia orgánica,[ mediante la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO5)], cloruros, título alcalimétrico completo (TAC), fosfatos, amonios, sólidos volátiles y en suspensión, nitratos y detergentes.

Al finalizar el proceso de depuración se comprueba como han bajado los indicadores de contaminación y además se completa con la determinación de oxígeno disuelto, nitritos, cloro y el valor de la salinidad. El valor de esta última es muy importante ya que es un condicionante para el tipo de cultivos en que se la pueda reemplazar, por ejemplo, las planterías no pueden regarse con aguas cuyo contenido en sal supere los 500 miligramos por litro, en cambio las patatas admiten hasta 1500 miligramos por litro de sales en el agua de riego y los tomates valores intermedios.

### 1.2.2. Primera etapa

El agua se introduce en unas balsas aireadoras o Reactores de Primera Etapa, donde se le somete a un tratamiento biológico primario.

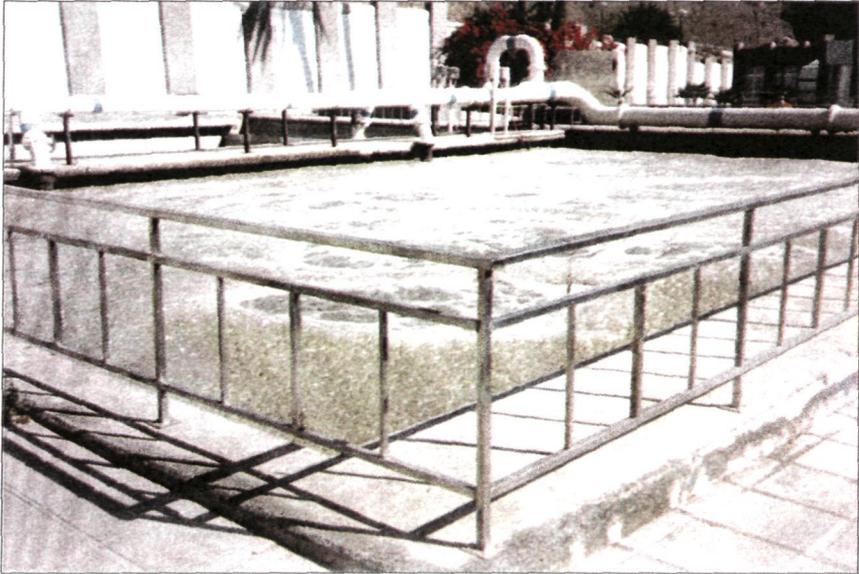


Fig. 4. Balsa aireadora.

Consiste en airear el agua para favorecer el desarrollo de microorganismos, generalmente bacterias aerobias capaces de degradar la materia orgánica transformándola en compuestos más sencillos e inoocuos. Mientras haya suficiente oxígeno para descomponer la materia orgánica, los microorganismos pueden mantener la limpieza del agua. Igualmente terminan de depositarse las partículas sólidas.



Fig. 5. Balsa aireadora vacía.

Como se observa perfectamente en la fotografía, en las balsas se insufla constantemente aire, por medio turbocompresores. Este aire pasa a través de una serie de tubos, difusores cerámicos, situados en el fondo. Este proceso se lleva a cabo, incluso en las que están vacías ya que si se detuviera, se solidificaría el lodo residual y se obstruirían los conductos dejándolos inservibles.

Los tubos de conducción en función del fluido que circula en cada uno de ellos presentan unas franjas coloreadas: azul (aire), verde con franja negra (aguas no tratadas), verde (agua limpia), amarillo (reactivos), marrón (fangos) rojo (calor), verde-amarillo (agua con reactivos).

De esta primera balsa pasa el agua a las *Decantadoras de Primera Etapa* que son circulares, con fondo cónico (observar figura 7). Presen-



Fig. 6. Balsa decantadora.

tan un volumen aproximado de 2.400 metros cúbicos. Están provistas de un brazo móvil, que va barriendo el agua fangosa para que el fango se concentre en el centro desde donde será succionado. El agua se somete a un movimiento constante por medio de un rotor cilíndrico, para evitar que durante el proceso de decantación se formen capas compactas de barro. El agua libre de la mayor parte del fango sale por unos rebosaderos para pasar a la 2ª ETAPA. Puede decirse que si el agua entra con 1000 ppm de materia orgánica, en esta 1ª ETAPA se eliminan 600 ppm (es decir, un 60%) de la materia orgánica presente.

### 1.2.3. Segunda etapa

El agua llega a esta etapa con sólo un 40% de materia orgánica y pasa a las balsas aireadoras o *Reactores de 2ª Etapa*, donde se lleva a cabo el tratamiento biológico semejante al realizado en la etapa anterior.



Fig. 7. Decantadora vacía.

En los *Decantadores Secundarios* se separa el fango (sólido) que pueda quedar en el agua. A partir de esta fase al agua según se la destine para la agricultura o para el riego de jardines se la someterá a tratamientos diferenciados:

Si se va a utilizar en la agricultura, finalizar la 2ª etapa se le añade directamente cloro, para la desinfección y a continuación se la somete a un filtrado a través de arenas de diatomea y se pasa a los correspondientes tanques de almacenamiento.

Si se destina al riego de jardines, como el agua obtenida al finalizar este proceso prácticamente está libre de lodos pero pueden quedar pequeñas partículas en suspensión que no decantan, lo que es un inconveniente, debe añadirse al agua procedente de los *Decantadores Secundarios*, unos compuestos químicos, cloruro férrico y polielectrolitos, agentes floculantes que cargan eléctricamente las partículas en suspensión haciendo que se unan y floculen. El agua después de este proceso se le añade cloro y por último se pasa a través de filtros de arena de diatomea, de menor a mayor grosor y se envía a los tanques de almacenamiento para su uso en jardinería o también para el uso de la propia planta.

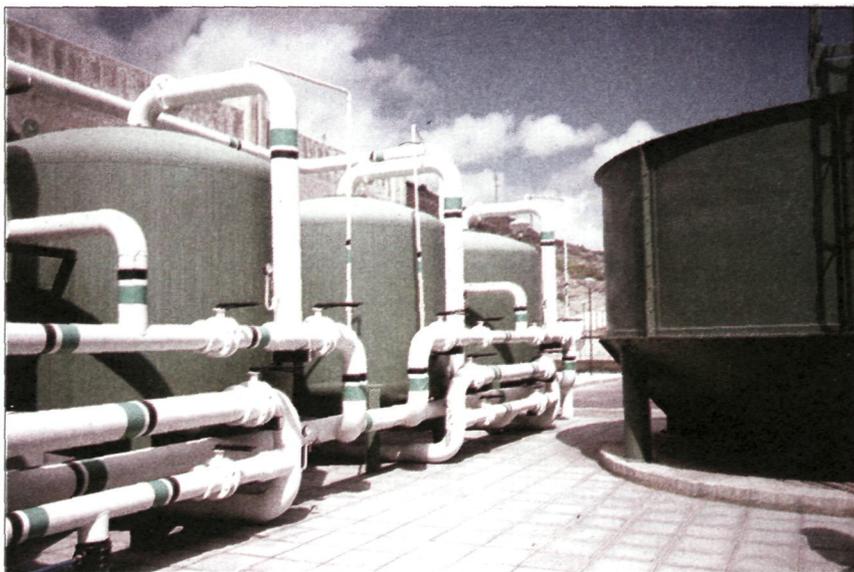


Fig. 8. Filtro de arena.

Semanalmente al agua almacenada se le realiza un análisis completo que incluye además de las determinaciones iniciales, la turbidez, color, olor, aspecto, dureza, sílice, aniones, cationes, flúor y determinaciones bacteriológicas. Los metales pesados: aluminio, molibdeno, manganeso, litio zinc y vanadio, se determinan una vez al mes.

### 1.3. La línea de fangos y de gas

Hasta aquí hemos visto el camino que recorre el agua, pero ¿qué se hace con los lodos sedimentados?

El fango resultante de las dos etapas es rico en oxígeno y en microorganismos descomponedores. Por ello, una parte, se recircula a su reactor correspondiente o a la cabeza de planta, a la entrada del agua, con objeto de reforzar el proceso biológico en las balsas aireadoras; con lo que se consigue un mayor desarrollo de microorganismos descomponedores de la materia orgánica.

El fango que no se recircula, son fangos en exceso, que pasan a un *espesador de gravedad* si proceden de la 1ª etapa y a un *espesador de flotación*, si proceden de la 2ª etapa, por ser más ligeros, en dichos espesadores se les quita agua. Después de los espesadores se conducen a una *arqueta de mezcla de fangos* y de aquí pasan a unos depósitos denominados *digestores*, donde las bacterias que dependen del oxígeno mueren y empiezan a proliferar las bacterias anaeróbicas que también descomponen la materia orgánica pero produciendo materiales que no resultan inocuos. Esta transformación anaerobia origina una serie de gases, especialmente metano. Esto se consigue llevando a cabo el proceso en unas determinadas condiciones: la temperatura debe ser de unos 37°C, que se consigue al circular agua caliente en unos tubos; el pH óptimo es en torno a 7 o 7,5; la acidez excesiva se baja por adición de cal; y el título alcalimétrico completo (TAC) también debe mantenerse dentro de unos límites.



Fig. 9. Digestores.

El gas metano que se produce en esta digestión anaerobia se almacena en depósitos preparados para este fin y se puede utilizar en el ca-

lentamiento de agua para los fangos en digestión y en la producción de energía eléctrica para consumo de la planta.

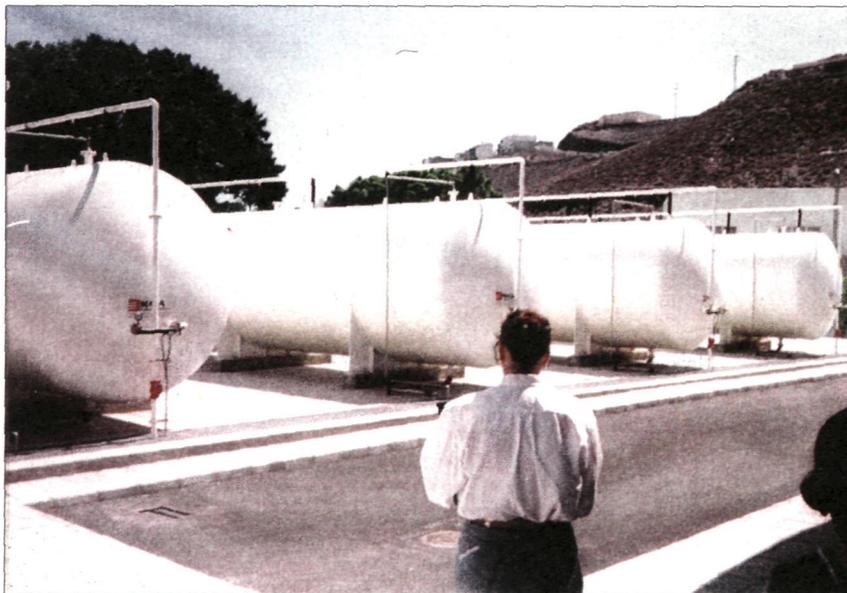


Fig. 10. Depósitos para gas.

Los lodos residuales se secan por medio de filtros de bandas y mediante un proceso de prensado se empaquetan con lo que se podrían utilizar como materia prima para la obtención de celulosa o para el abono.

#### IV.2. APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DEPURADAS

Puesto que una de las finalidades de las aguas depuradas es su reutilización en la agricultura y en riego de jardines, El Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas de Gran Canaria dispone de redes de distribución por toda la isla, desde el Sur, en Tirajana, al Norte en Gáldar y desde las medianías en Teror hasta la costa en Bañaderos.

Para garantizar el éxito del riego con aguas depuradas hay que adoptar una serie de medidas agronómicas y de higiene. Aunque el proceso de depuración se eliminan la mayor parte de los contaminantes patógenos,

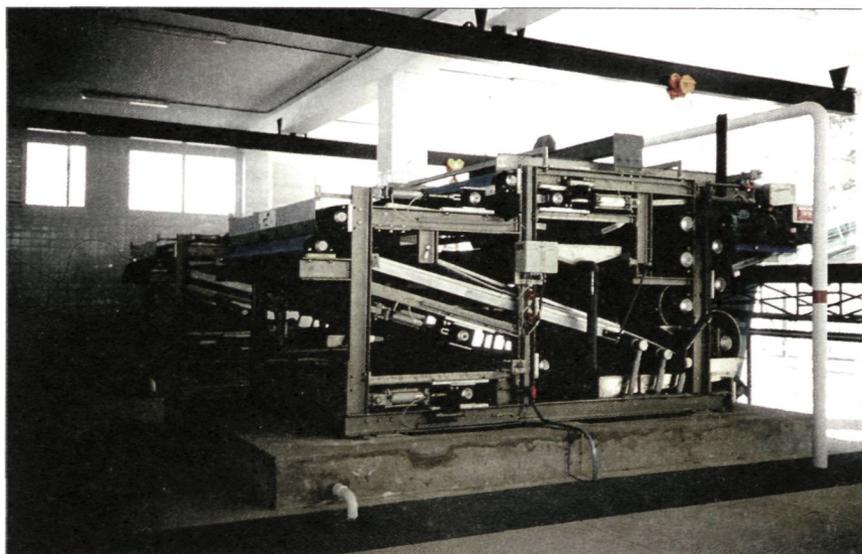


Fig. 11. Maquinaria para prensado de lodos.

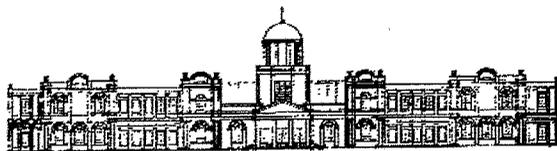
permanecen pequeñas cantidades de ellos que exige adoptar unas medidas mínimas, para garantizar su correcto uso.

Las condiciones de las aguas depuradas son diferentes a las de las aguas tradicionales. Como aspectos positivos del uso de estas aguas se destaca el contenido de nutrientes para el cultivo: nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, que supone un ahorro de fertilizantes para los agricultores. A esto se le puede añadir el ahorro que supone el más bajo precio del agua depurada frente a la tradicional.

Como aspecto negativo se podría destacar la capacidad que presentan estas aguas para obturar los filtros y goteos de los sistemas de riego y el que a veces pueden presentar un alto contenido en sodio y cloro. Si bien en este sentido los resultados demuestran que los aspectos negativos están por debajo de los niveles mínimos aceptados debido a los controles que el Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas realiza periódicamente.

El seguimiento de cultivos de tomates y plataneras muestra que llevando un plan de abonado acorde con el contenido de nutrientes del agua depurada, las producciones son idénticas o ligeramente superiores a los cultivos regados con aguas tradicionales.

Se terminó de imprimir este libro el día  
28 de diciembre de 1998, en los  
Talleres de Imprenta Taravilla,  
Mesón de Paños, 6.  
28013 Madrid.



SEDE INSTITUCIONAL  
UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA