

# Tratamiento de aguas

Dra. Catalina Sánchez-Roca

# Tratamiento de aguas

Dra. Catalina Sánchez-Roca

Primera edición, 2018

Autora: Catalina Sánchez-Roca

Edita: Educàlia Editorial

Imprime: Grupo Digital 82, S.L.

ISBN: 978-84-17493-62-2

Depósito legal: V-2317-2018

Printed in Spain/Impreso en España.

Todos los derechos reservados. No está permitida la reimpresión de ninguna parte de este libro, ni de imágenes ni de texto, ni tampoco su reproducción, ni utilización, en cualquier forma o por cualquier medio, bien sea electrónico, mecánico o de otro modo, tanto conocida como los que puedan inventarse, incluyendo el fotocopiado o grabación, ni está permitido almacenarlo en un sistema de información y recuperación, sin el permiso anticipado y por escrito del editor.

Alguna de las imágenes que incluye este libro son reproducciones que se han realizado acogiéndose al derecho de cita que aparece en el artículo 32 de la Ley 22/1987, del 11 de noviembre, de la Propiedad intelectual. Educàlia Editorial agradece a todas las instituciones, tanto públicas como privadas, citadas en estas páginas, su colaboración y pide disculpas por la posible omisión involuntaria de algunas de ellas.

### **Educàlia Editorial**

Avda. de las Jacarandas 2 loft 327 - 46100 Burjassot-València

Tel. 960 624 309 - 963 768 542 - 610 900 111

Email: [educaliaeditorial@e-ducalia.com](mailto:educaliaeditorial@e-ducalia.com)

[www.e-ducalia.com](http://www.e-ducalia.com)

## PROLOGO

El principal objetivo del texto es servir de guía para el módulo profesional de Tratamientos de Aguas impartido en el Ciclo Formativo de Grado Medio de Planta Química, es en el RD 178/2008, de 8 de febrero, donde se establece el título de Técnico y se fijan las enseñanzas mínimas.

Dividido en cuatro bloques: 1. Suministro de agua en los procesos industriales, 2. Control de parámetros en aguas afluentes y efluentes, 3. Tratamientos de agua afluente y 4. Depuración de aguas efluentes. Cada bloque se divide a su vez en capítulos, comenzando por un mapa conceptual, seguido de un glosario donde se repasa definiciones necesarias para la comprensión del texto, para terminar con un resumen y actividades de autoevaluación.

El bloque primero se divide en dos capítulos, son introductorios donde se va a analizar las propiedades del agua y su importancia en la industria.

El segundo bloque, el más extenso, consta de tres capítulos, se estructura en una parte teórica y otra parte práctica, proponiendo protocolos normalizados para el análisis de aguas y aguas residuales.

En el tercer bloque se encuentran dos capítulos, se desarrollan procesos físico-químicos y biológicos con los que la industria trata al agua para utilizarla en sus procesos, agua de entrada o afluente.

El bloque cuarto se compone de dos capítulos. La industria está obligada por ley a depurar las aguas, es decir, a eliminar los contaminantes que han llegado a ella derivados del proceso industrial antes de su vertido a la naturaleza. Todos estos contaminantes se concentran en los fangos, siendo responsabilidad de la industria su disposición final.

*Agradezco a Alfonso el apoyo, la inestimable ayuda, sus comentarios útiles y sugerencias recibidas y a mis hijas: Noelia y Raquel, por su comprensión durante el desarrollo de este libro.*

*“Olvidamos que el ciclo del agua y el ciclo de la vida son uno mismo” Jacques y Cousteau.*



<b>Capítulo 1. El agua</b> .....	<b>17</b>
1. INTRODUCCIÓN. ....	19
2. EL AGUA EN LA NATURALEZA.....	19
2.1. Estructura molecular del agua. ....	19
2.2. Carácter polar del agua. ....	22
2.3. Estados: sólido, líquido y gaseoso. ....	24
3. TIPOS DE AGUA SEGÚN SU PROCEDENCIA. CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. ....	25
3.1. Según las propiedades físicas, químicas y biológicas. ....	25
3.2. De acuerdo a sus usos. ....	32
4. EL CICLO DE AGUA.....	33
5. FUENTES DE AGUA PARA LA INDUSTRIA. ....	34
5.1. Fuentes de abastecimiento de agua.....	34
5.2. Fuentes superficiales y subterráneas. ....	35
6. CALIDAD DEL AGUA EN LA FUENTE.....	38
6.1. Calidad requerida para que sea potable.....	38
6.2. La protección de las fuentes. ....	39
7. FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA. ....	40
7.1. Formas puntuales. ....	40
7.2. Formas no puntuales. ....	40
8. CONSUMO SOSTENIBLE. GESTIÓN DEL AGUA.....	40
<b>Capítulo 2. El agua y la industria</b> .....	<b>49</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	51
2. USOS DEL AGUA EN LA INDUSTRIA. ....	51
2.1 Aplicaciones químicas. ....	51
2.2. Servicios auxiliares. ....	56
3. NECESIDAD DEL AGUA SEGÚN EL PROCESO INDUSTRIAL.....	57
4. USOS INDUSTRIALES DEL AGUA.....	57
5. REQUISITOS DEL AGUA SEGÚN EL PROCESO INDUSTRIAL.....	58
5.1. Industria alimentaria.....	59
5.2. Industria petroquímica. ....	59

6. PROBLEMAS ASOCIADOS AL USO INDUSTRIAL DEL AGUA.....	60
6.1. Corrosión.....	61
6.2. Incrustaciones.....	61
6.3. Erosión.....	62
6.4. Proliferación biológica.....	62
6.5. Polución/contaminación.....	62
6.6. Lixiviado.....	62
6.7. Eutrofización.....	62
7. TECNOLOGÍAS LIGADAS AL USO INDUSTRIAL DEL AGUA.....	64
8. ALMACENAMIENTO DEL AGUA. UBICACIÓN EN RELACIÓN AL PROCESO INDUSTRIAL Y AL ENTORNO.....	66
9. EL AGUA Y LAS DISTINTAS LEGISLACIONES.....	67
9.1. A nivel mundial.....	67
9.2. A nivel europeo.....	68
9.3. A nivel nacional.....	69
9.4. A nivel autonómico.....	72
9.5. A nivel local.....	73
<b>Capítulo 3. Aguas Afluentes y Efluentes.....</b>	<b>83</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	85
2. TIPOS DE IMPACTOS QUE RECIBEN LA HIDROSFERA.....	85
2.1. Sobreexplotación.....	85
2.2. Contaminación.....	86
3. CONSECUENCIAS DE LA SOBREEXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS.....	87
3.1. Descenso del nivel freático.....	89
3.2. Intrusión salina.....	89
3.3. Subsistencia.....	90
3.4. Secado.....	90
4. AGUAS AFLUENTES Y EFLUENTES. DEFINICIÓN Y CONTAMINACIÓN. ...	90
5. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS CONTINENTALES.....	92
5.1. Fuentes de contaminación.....	92
5.2. Efectos de la contaminación en ríos y lagos.....	93
5.3. Efectos de la contaminación en las aguas subterráneas.....	95
6. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS MARINAS.....	96
6.1. Fuentes y efectos de la contaminación.....	97
6.2. El efecto de los vertidos de petróleo.....	98
6.3. Eliminación de los vertidos de petróleo.....	100

7. IMPUREZAS Y CONTAMINANTES MÁS COMUNES DEL AGUA.....	101
7.1. Sólidos totales, sólidos en suspensión y materia coloidal.....	103
7.2. Materia orgánica.....	103
7.3. Aceites y grasas.....	104
7.4. Metales pesados.....	104
7.5. Compuestos aromáticos.....	104
8. NORMAS ISO. GESTIÓN DE CALIDAD, MEDIOAMBIENTE Y SEGURIDAD	106
9. PARÁMETROS QUE HAY QUE MEDIR Y CONTROLAR DEL AGUA DE VERTIDO INDUSTRIAL SEGÚN LA LEGISLACIÓN VIGENTE.....	108
<b>Capítulo 4. Toma de muestra .....</b>	<b>115</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	117
2. TOMA MUESTRA. MUESTREO.....	117
3. PRECAUCIONES GENERALES EN LA TOMA DE MUESTRA.....	117
4. ERRORES EN EL MUESTREO.....	118
4.1. Contaminación.....	118
4.2. Pérdida de elementos.....	119
4.3. Alteraciones físicas y químicas.....	119
5.    TÉCNICAS DE MUESTREO DE AGUAS AFLUENTES Y EFLUENTES.	119
6.    DISEÑO DE UN PLAN DE MUESTREO.....	121
6.1. Objetivos.....	123
6.2. Características del sistema.....	123
6.3. Parámetros a analizar.....	124
6.4. Técnicas de muestreo.....	124
6.5. Tipos de muestras: simples, compuestas, integradas.....	124
6.6. Puntos de muestreo.....	125
6.7. Parámetros a analizar “in situ” y registro de datos.....	125
6.8. Fecha, hora, lugar y frecuencia de la toma de muestra.....	127
6.9. Equipos de toma de muestra, herramientas, recipientes, aditivos etc.....	127
6.10. Número de muestras y volumen.....	131
6.11. Equipos de Protección Individual (EPI) necesarios, normas de seguridad.....	131
6.12. Identificación de la muestra. Etiquetado.....	131
6.13. Conservación y transporte de la muestra. Formato de custodia.....	132
7. MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES, SUBTERRÁNEAS E INDUSTRIALES.....	134
7.1. Muestreadores.....	135
7.2. Muestreo de aguas superficiales.....	137
7.3. Muestreo aguas subterráneas.....	139
8. TOMA DE MUESTRA DE AGUAS PARA ANÁLISIS.....	139

<b>Capítulo 5. Control de calidad del agua .....</b>	<b>155</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	157
2. LA CALIDAD DEL AGUA.....	157
2.1.    Parámetros utilizados para medir la calidad del agua.....	157
2.2. Evaluación y control de la calidad del agua.....	158
2.3. Complimentación y registro de boletines e informes. ....	158
3. PARÁMETROS A MEDIR EN AGUAS RESIDUALES. ....	160
3.1. Parámetros Físicos. ....	160
3.2. Parámetros químicos. ....	168
3.3. Parámetros biológicos.....	188
4. INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y UNIDADES EN QUE SE EXPRESAN. ....	197
4.1. pHmetro.....	197
4.2. Conductivímetro o conductímetro. ....	199
4.3. Turbidímetro. ....	200
4.4. Oxímetro.....	202
4.5. Ionómetros. Determinación de iones selectivos. ....	202
4.6. Medida de materia orgánica: DQO, DBO, COT.....	203
<b>Capítulo 6. Tratamiento del agua cruda para calderas, refrigeración y procesos     industrial.....</b>	<b>213</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	216
2. CALDERAS. ....	216
3. AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS.....	218
3.1. Calidades y requerimientos de las aguas de alimentación en calderas ITC-MIE-AP1. ...	220
3.2. Problemas que el uso del agua produce en las calderas. ....	221
3.3. Procedimiento de tratamiento de agua cruda de calderas en la industria.....	225
3.4. Control del agua de calderas. ....	229
3.5. Reducción de costes.....	231
4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y OPERATIVO DE CALDERAS. ....	232
5. NORMAS DE ORDEN, LIMPIEZA, SEGURIDAD LABORAL Y PREVENCIÓN AMBIENTAL EN CALDERAS.....	233
6. TORRES DE REFRIGERACIÓN. AGUAS DE ALIMENTACION.....	236
6.1. Calidades y requerimientos del agua en sistemas de enfriamiento. ....	237
6.2. Problemas asociados a las aguas de refrigeración. ....	237
6.3. Recuperación de las aguas de las torres de enfriamiento.....	240
6.4. Procedimiento de tratamiento de agua cruda o de alimentación para refrigeración. ....	241

7. MANTENIMIENTO Y PREVENCIÓN DE RIESGOS DE SEGURIDAD EN TORRES DE REFRIGERACION. ....	242
8. AGUAS DE ALIMENTACION EN PROCESOS INDUSTRIALES.....	244
8.1. Procesos farmacéuticos. Calidades y requerimientos.....	244
8.2. Industria alimentaria. Calidades y requerimientos.....	244
8.3. Procedimiento de tratamiento de agua cruda en procesos industriales.....	246
<b>Capítulo 7. Tratamiento de Aguas Afluentes.....</b>	<b>255</b>
1. INTRODUCCIÓN. ....	257
2. NECESIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES.....	257
3. ETAPAS DE TRATAMIENTO DEL AGUA AFLUENTE. DIAGRAMA GENERAL. ....	259
4. SEPARACIÓN DE SÓLIDOS.....	261
4.1. Sólidos en suspensión. Filtración, decantación y flotación. ....	261
4.2. Sólidos coloidales. Coagulación y floculación. ....	263
4.3. Moléculas e iones. Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y osmosis inversa. ....	265
4.4. Iones disueltos. Desmineralización. ....	269
5. SEPARACIÓN DE IMPUREZAS GASEOSAS. ....	273
6. TRATAMIENTOS COMBINADOS.....	274
6.1. Ósmosis inversa y resinas de intercambio. ....	274
6.2. Electrodesionización en continuo (EDI). ....	274
6.3. Otras separaciones y tratamientos: desodorización, cloración. ....	275
7. PRACTICA. TRATAMIENTO DE UN AGUA. ....	276
8. LEGISLACIÓN Y NORMATIVA APLICABLES A LAS AGUAS DE ENTRADA DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES.....	278
<b>Capítulo 8. Depuración de Aguas Efluentes.....</b>	<b>283</b>
1. INTRODUCCIÓN. ....	286
2. PROCESOS DE DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES. ....	286
2.1. Natural o blanda.....	287
2.2. Depuración Tecnológica o dura. Diagrama de flujo. ....	290
3. DIAGRAMA GENERAL DE LAS ETAPAS DE DEPURACIÓN DE LAS AGUAS EFLUENTES.....	291
4. PRETRATAMIENTO. ....	293

## Tratamiento de aguas

4.1. Aliviadero.....	294
4.2. Desbaste o filtración grosera: rejas y tamices.....	294
4.3. Desarenadores. Decantación de arenas y similares.....	296
4.4. Desengrasadores. Separación de aceites y afines.....	297
4.5. Homogeneización.....	297
<b>5. TRATAMIENTOS PRIMARIOS.....</b>	<b>298</b>
5.1. Sedimentación primaria.....	299
5.2. Flotación con aire.....	300
5.3. Coagulación-Floculación.....	300
5.4. Neutralización.....	301
<b>6. TRATAMIENTOS SECUNDARIOS. BIOLÓGICOS.....</b>	<b>301</b>
6.1. Lagunas o Estanques.....	302
6.2. Lodos activados.....	302
6.3. Lechos bacterianos.....	304
6.4. Filtro por goteo.....	305
<b>7. TRATAMIENTOS TERCARIOS.....</b>	<b>306</b>
7.1. Filtración.....	307
7.2. Eliminación de los compuestos nitrogenados.....	307
7.3. Eliminación del fósforo.....	310
7.4. Adsorción con carbón activo.....	311
7.5. Intercambio iónico.....	311
7.6. Procesos de separación por membranas.....	312
7.7. Desinfección: radiación ultravioleta, cloración, oxidación con ozono.....	313
<b>8. MANTENIMIENTO Y CONTROL DE FUNCIONAMIENTO DE EQUIPOS DE DEPURACIÓN DE AGUA.....</b>	<b>314</b>
8.1. Equipos de filtración con membranas semipermeables. Limpieza.....	315
8.2. Equipos de tratamiento biológico. Regeneración de microorganismos.....	315
<b>9. LEGISLACIÓN Y NORMATIVA APLICABLE A LA DEPURACIÓN DE AGUAS DE PROCESOS INDUSTRIALES.....</b>	<b>316</b>
9.1. Prevención de riesgos.....	317
9.2. Protección medioambiental.....	318
<b>10. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EFLUENTES DE UNA INDUSTRIA PETROQUIMICA.....</b>	<b>319</b>
<b>Capítulo 9. Fangos.....</b>	<b>327</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	329
2. CARACTERIZACION DE LOS FANGOS.....	329
3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE DEPURACIÓN. LÍNEA DE FANGOS.....	331

## Índice

4. CONCENTRACIÓN DE LODOS (ESPESAMIENTO) .....	333
4.1. Espesamiento por gravedad .....	334
4.2. Espesamiento por flotación.....	334
4.3. Espesamiento por centrifugación .....	335
5. ESTABILIZACIÓN, DIGESTION. VARIABLES A CONTROLAR.....	337
5.1. Estabilización con cal.....	337
5.2. Digestión. ....	337
6. ACONDICIONAMIENTO DE LODOS. ....	344
7. SECADO DE LODOS.....	345
7.1. Eras de secado. ....	345
7.2. Secado mecánico. ....	345
8. INCINERACIÓN .....	348
8.1. Horno de pisos múltiples.....	349
8.2. Horno atomizador. ....	349
8.3. Horno rotatorio. ....	350
8.4. Horno de lecho fluidizado. ....	351
9. PREPARACIÓN DE LOS FANGOS PARA USOS AGRÍCOLAS. ....	352
9.1. Almacenamiento. ....	353
9.2. Pasteurización. ....	353
9.3. Radiación. ....	354
9.4. Compostaje.....	354
10. INSTRUMENTOS DE CONTROL BÁSICO EN DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES (EDAR). ....	355
<b>Capítulo</b> .....	<b>363</b>
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	364



## Índice de figuras

FIGURA 1. MOLÉCULA DE AGUA.....	19
FIGURA 2.CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA DE LOS ELECTRONES EXTERNOS DEL ÁTOMO DE OXÍGENO Y DEL HIDRÓGENO.....	20
FIGURA 3. ORBITAL S.....	20
FIGURA 4. ORBITALES ATÓMICOS P <sub>x</sub> , P <sub>y</sub> , P <sub>z</sub> .....	20
FIGURA 5. ORDENAMIENTO DE LOS ELECTRONES DE VALENCIA EN LA MOLÉCULA DEL AGUA.....	21
FIGURA 6. REPRESENTACIÓN DE LA MOLÉCULA COVALENTE DEL AGUA.....	22
FIGURA 7.DIPOLO DE LA MOLÉCULA DE AGUA.....	22
FIGURA 8.ESQUEMA DE UN DÍMERO DE AGUA. LA LÍNEA PUNTEADA REPRESENTA LA INTERACCIÓN TIPO PUENTE DE HIDRÓGENO.....	23
FIGURA 9. MOLÉCULAS DE AGUA EN ESTADO LÍQUIDO.....	24
FIGURA 10. MOLÉCULAS DE AGUA ESTADO GASEOSO.....	24
FIGURA 11. PUNTOS DE EBULLICIÓN DE LOS HIDRURROS NO METÁLICOS -HIDRÁCIDOS-.....	26
FIGURA 12. ESTRUCTURA CRISTALINA DEL HIELO.....	28
FIGURA 13. MENISCO CÓNCAVO DEL AGUA.....	30
FIGURA 14. EFECTO DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL.....	30
FIGURA 15. EL CICLO DEL AGUA.....	33
FIGURA 16. POZOS DE GRAVEDAD.....	36
FIGURA 17. POZOS SURGENTES Y ARTESIANOS.....	36
FIGURA 18. VÍAS DE CONTAMINACIÓN Y EJEMPLOS DE PATÓGENOS RELACIONADOS CON EL AGUA.....	39
FIGURA 19. CONSTRUCCIÓN DE UNA MOLÉCULA DE AGUA.....	43
FIGURA 20. REACCIÓN QUÍMICA DEL AGUA.....	43
FIGURA 21. TENSIÓN SUPERFICIAL DEL AGUA.....	44
FIGURA 22. ESQUEMA DE UNA CELDA DE ELECTROLISIS.....	52
FIGURA 23. ESQUEMA DE UNA CUBA PARA LA ELECTROLISIS DEL AGUA.....	53
FIGURA 24.DISOLUCIÓN DE IONES EN AGUA.....	54
FIGURA 25.DISOLUCIÓN DE UNA MOLÉCULA NO IÓNICA CON GRUPOS POLARES EN AGUA.....	54
FIGURA 26. DISPERSIÓN COLOIDAL.....	55
FIGURA 27. EMULSIÓN ESTABLE ACEITE EN AGUA (O/W).....	55
FIGURA 28. EMULSIÓN ESTABLE AGUA EN ACEITE (W/O).....	55
FIGURA 29. USO NO CONSUNTIVO , FUENTE ORNAMENTAL.....	58
FIGURA 30. USO CONSUNTIVO, INDUSTRIA QUÍMICA.....	58
FIGURA 31. DIAGRAMA DE FLUJO DE CAPTACIÓN (1) Y VERTIDO (2) DE AGUAS UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA.....	65
FIGURA 32. ALMACENAMIENTO DE AGUAS DE LLUVIA EN BALSAS.....	67
FIGURA 33. HUMEDAL EN SAN PEDRO DEL PINATAR (MURCIA).....	86
FIGURA 34. SOBREEXPLOTACIÓN DE UN ACUÍFERO.....	89
FIGURA 35. INTRUSIÓN SALINA.....	89
FIGURA 36. AGUAS AFLUENTES Y AGUAS EFLUENTES.....	91
FIGURA 37. INTERRELACIÓN DE LAS NORMAS ISO.....	107
FIGURA 38. DIAGRAMA DE FLUJO DE AGUAS DE ORIGEN INDUSTRIAL DEPURADAS (1) Y SIN DEPURAR (2).....	109
FIGURA 39. MUESTREO ALEATORIO.....	120
FIGURA 40. MUESTREO SISTEMÁTICO:.....	121
FIGURA 41. MUESTREO ESTRATIFICADO.....	121
FIGURA 42. DISEÑO DE UN PLAN DE MUESTREO.....	123
FIGURA 43. MUESTREO.....	125
FIGURA 44. REGISTRO DE LAS MEDIDAS "IN SITU".....	126
FIGURA 45. LOS ENVASES DE PLÁSTICO SE ENVUELVEN EN PAPEL DE CELOFÁN.....	128
FIGURA 46. TOMA MUESTRAS Y ENVASES.....	128
FIGURA 47. REGISTRO DE ETIQUETA.....	132
FIGURA 48. NEVERA PARA EL TRANSPORTE DE MUESTRAS.....	132
FIGURA 49. FORMATO DE CUSTODIA.....	134
FIGURA 50. BOTELLA LASTRADA SIMPLE.....	135
FIGURA 51. VARIACIÓN DE BOTELLA LASTRADA.....	135
FIGURA 52. MUESTREADOR NISKIN.....	136
FIGURA 53. MUESTREADOR BACON.....	137
FIGURA 54. MUESTREADOR BAILER.....	137

## Tratamiento de aguas

FIGURA 55. FLAMEO DE BOCA DE GRIFO. ....	141
FIGURA 56. ESQUEMA DEL MUESTREO AL LABORATORIO PARA EL ANÁLISIS DE LA MUESTRA.....	142
FIGURA 57. PEACHÍMETRO PORTÁTIL, MODELO PHSCAN30 POCKET PH TESTER.....	144
FIGURA 58. CONDUCTÍMETRO PORTÁTIL, MODELO TESTER SERIE 5.....	145
FIGURA 59. TURBIDÍMETRO, MODELO HI 93414 HANNA.....	146
FIGURA 60. COMPONENTES DEL KIT RÁPIDO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DUREZA TOTAL. ..	147
FIGURA 61. TABLA DE EVALUACIÓN DEL KITS DE DUREZA TOTAL. ....	148
FIGURA 62. A) TABLA DE EVALUACIÓN DEL KITS DE SÍLICE Y SILICATOS; B) COLOR EN UNA MUESTRA DE AGUA .....	149
FIGURA 63. CARTULINA COMPARATIVA DE COLORES. ....	149
FIGURA 64. COMPONENTES DEL TEST RÁPIDO PARA DETERMINAR NITRITOS.....	150
FIGURA 65. TABLA DE EVALUACIÓN DEL KITS DE NITRITOS.....	150
FIGURA 66. CARTULINA COMPARATIVA DE COLORES PARA NITRITOS.....	150
FIGURA 67. COMPONENTES DEL TEST RÁPIDO PARA DETERMINAR NITRATOS.....	151
FIGURA 68. TABLA DE EVALUACIÓN DEL KITS DE NITRATOS.....	151
FIGURA 69. CARTULINA COMPARATIVA DE COLORES PARA NITRITOS.....	152
FIGURA 70. INFORME ANALÍTICO.....	159
FIGURA 71. MEDIDA DE LA TEMPERATURA.....	161
FIGURA 72. CONO DE IMHOFF.....	163
FIGURA 73. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES.....	163
FIGURA 74. EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.....	164
FIGURA 75. FILTRO SIN CENIZAS ANTES Y DESPUÉS DEL FILTRADO DE AGUA PROBLEMA.....	165
FIGURA 76. A) CRISOLES DENTRO DE UNA MUFLA. B) MUFLA.....	166
FIGURA 77. FORMA DE PLEGAR EL PAPEL DE FILTRO PARA COLOCARLO DENTRO DEL CRISOL.....	167
FIGURA 78. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES.....	168
FIGURA 79. CAMBIO DE COLOR CON FENOFTALEÍNA.....	179
FIGURA 80. CAMBIO DE COLOR CON ANARANJADO DE METILO.....	180
FIGURA 81. CAMBIO DE COLOR CON MUREXIDA.....	183
FIGURA 82. CAMBIO DE COLOR CON NEGRO DE ERTCROMO T.....	183
FIGURA 83. DETERMINACIÓN DE SULFATOS.....	186
FIGURA 84. COLORÍMETRO, MODELO HI 93414 HANNA PARA LA DETERMINACIÓN DE CLORO LIBRE Y CLORO TOTAL.....	187
FIGURA 85. PATRONES DE CLORO: CERO Y 1 MG/L DE CLORO.....	188
FIGURA 86. MÉTODO DE TUBOS MÚLTIPLES: DETERMINACIÓN DE <i>ENTEROBACTERIAS</i> LACTOSA- POSITIVAS (COLIFORMES).....	189
FIGURA 87. POLISAPROBIOS.....	189
FIGURA 88. MESOSAPROBIOS.....	190
FIGURA 89. OLIGOSAPROBIOS.....	190
FIGURA 90. DETERMINACIÓN DE COLIFORMES POR EL MÉTODO DE LAS MEMBRANAS FILTRANTES. .....	192
FIGURA 91. CALDO DE CULTIVO BGBL CON CAMPANA DURHAM.....	193
FIGURA 92. GRADILLA DE TRES SERIES DE TRES TUBOS DE CALDO BGBL.....	193
FIGURA 93. ESQUEMA ANALÍTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE COLIFORMES POR EL MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE.....	195
FIGURA 94. OBSERVACIÓN EN EL MICROSCOPIO.....	196
FIGURA 95. ELECTRODO COMBINADO DE VIDRIO PARA LA MEDIDA DE PH.....	198
FIGURA 96. PHMETRO.....	198
FIGURA 97. TAMPONES PARA CALIBRADO DEL PHMETRO Y DISOLUCIÓN DE KCL PARA LA HIDRATACIÓN DEL ELECTRODO.....	199
FIGURA 98. PARTES DE UN ELECTRODO COMBINADO DE VIDRIO.....	199
FIGURA 99. CONDUCTÍMETRO O CONDUCTIVÍMETRO.....	200
FIGURA 100. CELDA DE CONDUCTIVIDAD.....	200
FIGURA 101. ÓPTICA DE UN TURBIDÍMETRO.....	201
FIGURA 102. ÓPTICA DE UN NEFELÓMETRO.....	201
FIGURA 103. ELECTRODO SELECTIVO PARA DETERMINAR CUANTITATIVAMENTE EL ION AG+. ....	202
FIGURA 104. DETERMINACIÓN DE DQO.....	204
FIGURA 105. DETERMINACIÓN DE DBO <sub>5</sub> .....	205

## Índice de figuras

FIGURA 106. ESQUEMA DE UNA CALDERA.....	217
FIGURA 107. CALDERA.....	217
FIGURA 108. QUEMADOR DE UNA CALDERA.....	218
FIGURA 109. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA.....	219
FIGURA 110. APARICIÓN DE DEPÓSITOS EN UNA CALDERA.....	221
FIGURA 111. CORROSIÓN Y DEPÓSITOS EN UNA CALDERA.....	222
FIGURA 112. CORROSIÓN EN UNA CALDERA.....	224
FIGURA 113. DESAIREADOR DE PULVERIZACIÓN.....	228
FIGURA 114. DESAIREADOR DE PLATOS COMBINADOS.....	229
FIGURA 115. TORRES DE ENFRIAMIENTO DE CIRCUITO CERRADO.....	237
FIGURA 116. DECANTACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.....	262
FIGURA 117. FLOTACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN.....	262
FIGURA 118. FLOTACIÓN PROVOCADA.....	263
FIGURA 119. COAGULACIÓN.....	264
FIGURA 120. FLOCULACIÓN.....	264
FIGURA 121. ESQUEMA COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN.....	265
FIGURA 122. FILTRACIÓN POR MEMBRANAS SEMIPERMEABLES.....	266
FIGURA 123. DIÁMETRO DE PORO EMPLEADO EN LAS MEMBRANAS SEMIPERMEABLES EN PROCESOS DE FILTRACIÓN.....	266
FIGURA 124. A) ÓSMOSIS NORMAL, B) ÓSMOSIS INVERSA.....	268
FIGURA 125. DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE CALDERAS (P.T.A.C.).....	269
FIGURA 126. PROCESO DE DESTILACIÓN.....	270
FIGURA 127. PROCESO DE INTERCAMBIO IÓNICO.....	270
FIGURA 128. PROCESO DE AGOTAMIENTO Y REGENERACIÓN DE LAS RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO.....	272
FIGURA 129. LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN.....	287
FIGURA 130. FILTRO VERDE.....	288
FIGURA 131. LECHOS DE TURBA.....	289
FIGURA 132. CÁMARA SÉPTICA.....	289
FIGURA 133. DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA DEPURADORA MUNICIPAL.....	290
FIGURA 134. PLANO DE UNA PLANTA DEPURADORA MUNICIPAL.....	293
FIGURA 135. ALIVIADERO.....	294
FIGURA 136. ESQUEMA DE UN TAMIZ ROTATORIO.....	296
FIGURA 137. DESARENADOR HORIZONTAL.....	296
FIGURA 138. DESARENADOR –DESENGRASADOR.....	297
FIGURA 139. FOTOGRAFÍA DE UN DESENGRASADOR.....	297
FIGURA 140. HOMOGENEIZADOR.....	298
FIGURA 141. DECANTADOR PRIMARIO CIRCULAR.....	300
FIGURA 142. DEPÓSITO DE LODOS ACTIVADOS.....	303
FIGURA 143. CLARIFICADOR O DECANTADOR SECUNDARIO.....	303
FIGURA 144. DIAGRAMA DE FLUJO DE LODOS ACTIVADOS.....	304
FIGURA 145. ESQUEMA LECHOS BACTERIANOS.....	304
FIGURA 146. ESQUEMA DEL SISTEMA DE BIODISCOS.....	305
FIGURA 147. CICLO DEL NITRÓGENO.....	309
FIGURA 148. DIAGRAMA DE FLUJO DE UN PROCESO DE NITRIFICACIÓN/DESNITRIFICACIÓN.....	310
FIGURA 149. MEMBRANA SEMIPERMEABLE.....	312
FIGURA 150. ALTERNATIVAS PARA LA DISPOSICIÓN DE LODOS.....	330
FIGURA 151. DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA EDAR.....	331
FIGURA 152. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LÍNEA DE FANGOS CONVENCIONAL.....	332
FIGURA 153. ESQUEMA DE ESPESAMIENTO DE LODOS POR GRAVEDAD.....	334
FIGURA 154. ESPESADOR POR GRAVEDAD DINÁMICO.....	334
FIGURA 155. ESPESAMIENTO POR FLOTACIÓN.....	335
FIGURA 156. ESQUEMA DE UNA CENTRIFUGA DE TORNILLO HELICOIDAL CON GIRO EN EL MISMO SENTIDO.....	336
FIGURA 157. ESQUEMA DE CENTRIFUGA DE DISCOS.....	336
FIGURA 158. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DEL BIOGÁS GENERADO Y DIGESTOR DE FANGOS ANAEROBIO.....	338
FIGURA 159. ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	338

## Tratamiento de aguas

FIGURA 160. DIGESTOR DE FANGOS MONOETAPA.....	340
FIGURA 161. DIGESTOR DE FLUJO.....	341
FIGURA 162.. DIGESTOR DE DOBLE FASE.....	341
FIGURA 163.. DIGESTOR AEROBIO CONVENCIONAL.....	343
FIGURA 164. ERAS DE SECADO.....	345
FIGURA 165. FILTROS DE VACÍO.....	346
FIGURA 166. ZONAS DE UN FILTRO DE VACÍO.....	346
FIGURA 167. ESQUEMA DE UN FILTRO BANDA.....	347
FIGURA 168. ESQUEMA DE UN FILTRO PRENSA.....	347
FIGURA 169. ESQUEMA DE UN INCINERADOR TÍPICO.....	348
FIGURA 170. ESQUEMA DE UN HORNO DE PISOS MÚLTIPLES.....	349
FIGURA 171. ESQUEMA DE UN HORNO ROTATORIO.....	350
FIGURA 172. INCINERADOR DE LECHO FLUIDIFICADO.....	351
FIGURA 173. LODOS TRANSPORTADOS POR MEDIO DE UNA CINTA TRANSPORTADORA A UNA TOLVA DE DISTRIBUCIÓN.....	352
FIGURA 174.. ALMACENAMIENTO DE LODOS.....	353
FIGURA 175. PROCESO DE PASTEURIZACIÓN POR INYECCIÓN DIRECTA DE VAPOR.....	354

# 1

## El agua

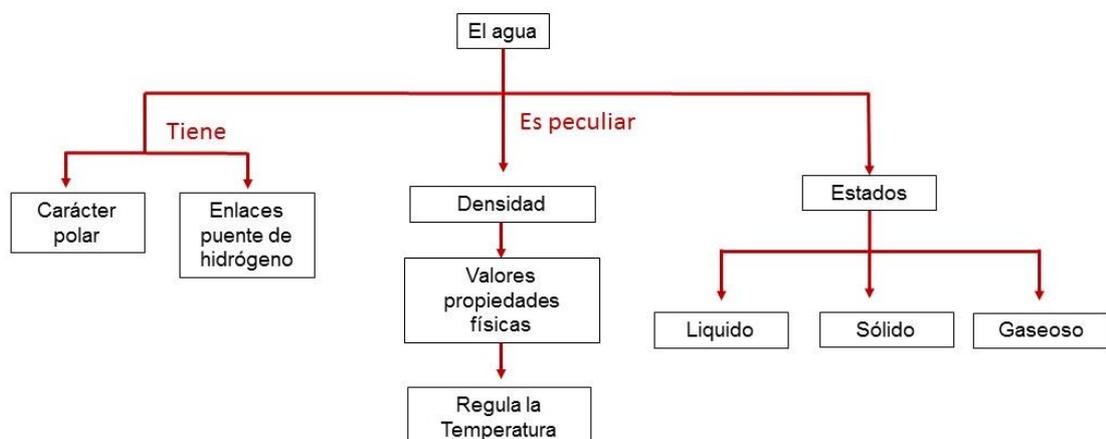
### Objetivos

---

1. Describir la molécula del agua.
2. Definir las propiedades físicas, químicas y biológicas.
3. Describir las principales fuentes de agua.
4. Definir formas de contaminación.
5. Establecer consideraciones para el ahorro y sostenibilidad en el uso del agua.

### Mapa conceptual

---



---

## Glosario

---

- Acuífero*. Son formaciones permeables que contienen agua que circula fácilmente por los poros o grietas y pueden cederla.
- Acuíferos libres*. Aquellos que tienen la capa superior permeable, donde el agua que llega a una cierta altura está sometida a la presión atmosférica.
- Acuíferos confinados*. Aquellos que están entre dos capas impermeables, el agua ocupa todos los poros de la roca y está sometida a una mayor presión que la atmosférica.
- Acuíferos semiconfinados*. Si la capa superior del acuífero libre es semipermeable.
- Autodepuración*. Conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tiene lugar de un modo natural en una masa de agua y que tienden a destruir los contaminantes incorporados en la misma.
- Calor específico*. Cantidad de calor que se necesita por unidad de masa para elevar la temperatura un grado celsius.
- Calor latente de fusión*. Es el calor absorbido, a temperatura constante, para que un gramo de sustancia pase del estado sólido a líquido.
- Calor latente de vaporización*. Es el calor absorbido, a temperatura constante, para que un gramo de sustancia pase del estado líquido a vapor.
- Caloría*. Cantidad de calor que cede o absorbe un gramo de agua para variar su temperatura en un grado.
- Configuración electrónica*. Es la manera ordenada de repartir los electrones en los niveles y subniveles de energía.
- Colector*. Conducto subterráneo en el cual vierten las alcantarillas sus aguas.
- Desagüe*. Conducto de salida de las aguas, llamado también sumidero o drenaje.
- Emisor*. Conducto, normalmente, submarino por el cual vierten las industrias sus aguas.
- Menisco*. Nombre que recibe la curva de la superficie de los líquidos.
- Número atómico (Z)*. Es el número de protones que hay en el núcleo de un elemento químico.
- Nivel freático*. Límite entre la zona de aireación y la zona de saturación de un acuífero libre, es decir, el nivel superior de un acuífero.
- Nivel piezométrico*. Altura que alcanza una columna de agua al perforar un acuífero confinado, por la presión a la que está sometida, hasta igualar la presión atmosférica.
- Percolación (infiltración)*. Es el agua que llega a través del suelo a los acuíferos.
- Propiedad química*. Produce cambios irreversibles, es decir, cambios que afectan a la naturaleza de la materia y ya no es posible volver a su antiguo estado.
- Propiedad física*. Es la que produce cambios reversibles, es decir, que no afecta a la naturaleza de la materia y puede volver a su anterior estado.
- Punto triple*. Es aquel en el cual coexisten en equilibrio el estado sólido, líquido y gaseoso de una sustancia.
- Masa molecular*. Es la suma de las masas atómicas de los átomos que forman la molécula.
- Punto de ebullición*. Es la temperatura a una atm de presión, en la que el líquido pasa a gas.
- Punto de fusión*. Es la temperatura a una atm de presión, en la que el sólido pasa a líquido.
-

## 1. INTRODUCCIÓN.

El agua se encuentra en nuestro planeta en forma líquida, sólida y gaseosa. Es un compuesto que presenta unas propiedades físico-químicas particulares, es imprescindible para el desarrollo y el sostén de la vida en nuestro planeta, no sólo como alimento sino también para la realización de numerosas y muy diversas actividades antrópicas.

En el resumen del segundo Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo dice: “El agua es esencial para la supervivencia y el bienestar humano, y es importante para muchos sectores de la economía. Los recursos hídricos se encuentran repartidos de manera desigual en el espacio y el tiempo, y sometidos a presión debido a las actividades humanas”.

## 2. EL AGUA EN LA NATURALEZA.

El agua es el líquido sin color e insípido que cubre cerca del 71% de la tierra. El 97% es agua salada y el resto, 3%, es agua dulce.

La mayor parte del agua dulce está congelada en el Polo Norte y Polo Sur y el resto está en ríos, corrientes, acuíferos y vertientes.

### 2.1. Estructura molecular del agua.

La molécula de agua, con un peso molecular de 18,016 g/mol, es el resultado de la combinación de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. En la figura 1 se muestra la imagen de una molécula de H<sub>2</sub>O individual, en ella se aprecia que los dos átomos de hidrógeno se encuentran unidos a un átomo de oxígeno, ambos al mismo lado y formando un ángulo de 104,5 grados entre los enlaces de O-H, dándole a la molécula una forma en V.

Estos átomos unidos son más estables que por separado. El oxígeno se une por medio de un enlace covalente a cada átomo de hidrógeno.



Figura 1. Molécula de agua.



## Recuerda

---

Dos átomos se unen mediante un enlace covalente cuando comparten uno o más pares de electrones.

---

Los electrones compartidos pertenecen al último nivel de energía. Un átomo, al compartir electrones, pretende adquirir la configuración electrónica externa propia de un gas noble: 8 electrones. Esta configuración es particularmente estable y a ella deben los gases nobles su inercia química.

Se puede establecer la situación de todos los electrones de los átomos de un elemento en su estado fundamental y expresarla mediante una fórmula que se denomina configuración electrónica del elemento.



Figura 2. Configuración electrónica de los electrones externos del átomo de oxígeno y del hidrógeno

En la figura 2 están representados por puntos los electrones de la capa externa del átomo de oxígeno y el de hidrógeno respectivamente.

A la configuración electrónica del último nivel energético del átomo de oxígeno le faltan dos electrones para completarla y tener así la configuración del neón:  $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^2 2p_z^2$ , del gas noble más próximo en la tabla periódica.

Los  $Z$  electrones de un elemento dado se colocan en el átomo siguiendo el orden creciente de energía de los orbitales. Es decir, en este orden concreto:  $1s$ ,  $2s$ ,  $2p$ ,  $3s$ ,  $3p$ ,  $4s$ ,  $3d$ ,  $4p$ ,  $5s$ , etc. Es la denominada regla de Pauli del llenado de los orbitales.

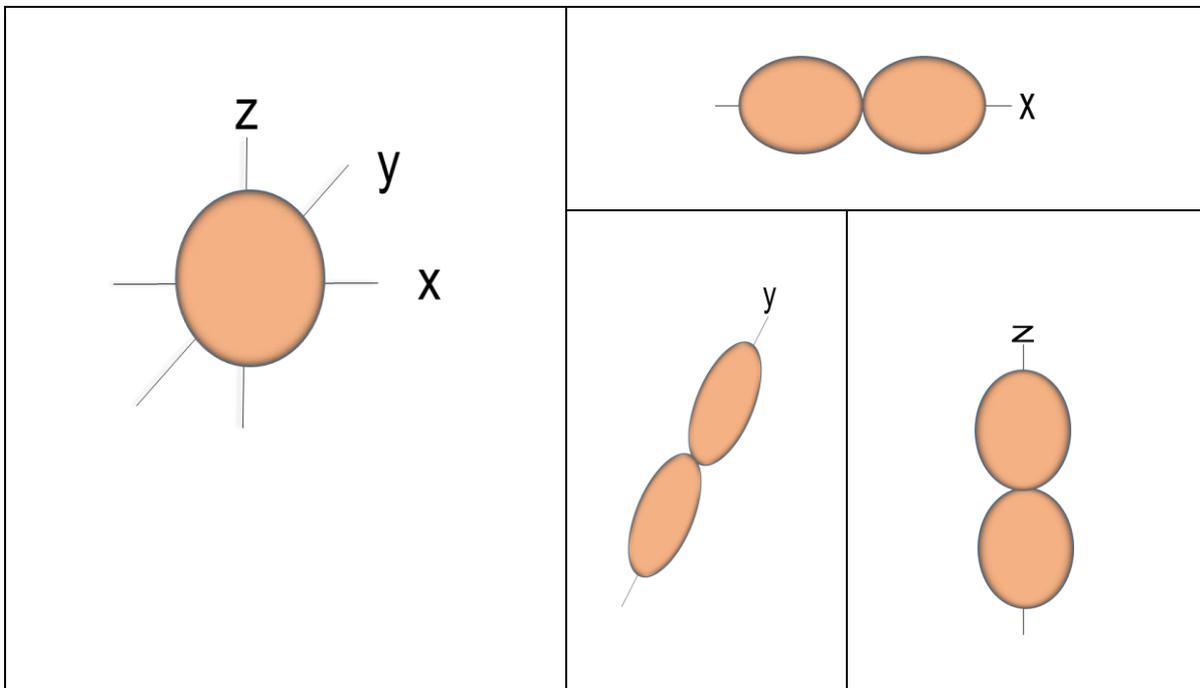


Figura 3. Orbital s.

Figura 4. Orbitales atómicos  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$ .

Los orbitales representan estados de energía permitidos por el electrón. Sólo está permitido cierto número de niveles de energía ( $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  y  $7$ ) y en cada

El agua.

uno de éstos, un cierto número de orbitales con sus diversas formas o distribuciones y sus orientaciones en el espacio.

Orbital s. Se representa mediante una nube esférica (Fig. 3) y sólo puede haber uno en cada nivel.

Orbital p. Tienen la forma indicada en la figura 4 y el máximo número en un nivel es de tres.

La formación de un enlace químico siempre produce un cambio en la configuración electrónica respecto a la de los átomos aislados, es decir, al enlazarse los átomos adquieren una configuración electrónica más estable, esto va a determinar las propiedades químicas de la molécula.

La geometría de la molécula del agua (Fig. 5) se determina por el ordenamiento de los pares electrónicos. Existe un total de 8 electrones de valencia o “exteriores” en el agua, de estos electrones dos pares corresponden a enlaces de oxígeno-hidrógeno (donde cada átomo de hidrógeno aporta su electrón al enlace), mientras que los otros dos pares no participan en los enlaces y se consideran como pares de electrones “libres” o “no compartidos” del oxígeno.

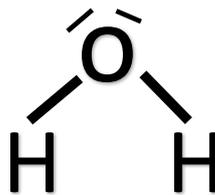


Figura 5. Ordenamiento de los electrones de valencia en la molécula del agua.

Al existir cuatro electrones “libres” alrededor del núcleo del átomo de oxígeno, éstos tienden a distribuir en tres dimensiones, manteniendo la mayor distancia entre ellos para que las fuerzas de repulsión sean mínimas. El resultado de tales interacciones es que los átomos de hidrógeno quedan a un mismo lado de la molécula, en tanto que los pares libres se distribuyen en el resto del espacio.

El agua es una molécula covalente (Fig. 6), el átomo de oxígeno comparte un par de electrones con cada uno de los átomos de hidrógeno y, así, los tres átomos tienen su último nivel energético completo.



## Recuerda

---

En la molécula de agua los tres átomos no están en línea recta, sino formando un ángulo de  $104,5^\circ$ .

---

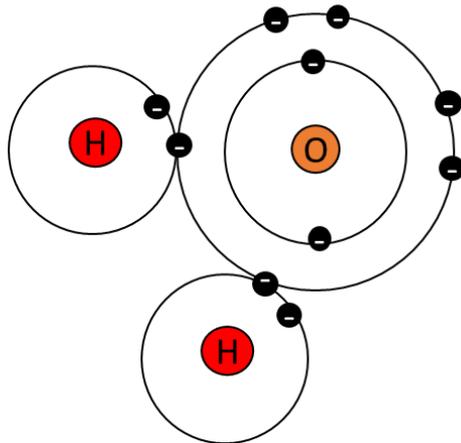


Figura 6. Representación de la molécula covalente del agua.



## Actividades

- 1.1. ¿Cuántos electrones tienen en su último nivel electrónico el átomo de oxígeno y el átomo de hidrógeno?
- 1.2. Escribe la configuración electrónica del átomo de oxígeno, cuyo número atómico ( $Z=8$ ) es igual a 8 y del hidrógeno ( $Z=1$ ).
- 1.3. A partir de los átomos de oxígeno e hidrógeno dibuja la molécula del agua, señalando los dos enlaces covalentes.

### 2.2. Carácter polar del agua.

Otra característica importante del agua tiene que ver con el grado de polaridad o de separación de la carga eléctrica que existe en la molécula. Debido a la gran diferencia de electronegatividad, los electrones compartidos son atraídos más fuertemente por el oxígeno que se queda con una cierta carga negativa que por los átomos de hidrógeno que quedan con una cierta carga positiva. Esto hace que la molécula de agua sea un dipolo eléctrico, aunque en conjunto es eléctricamente neutra.

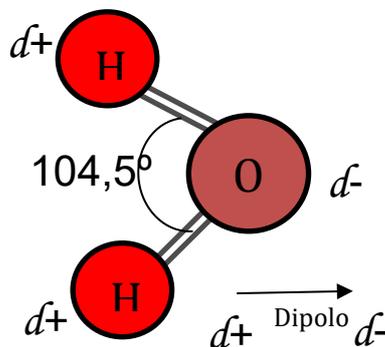


Figura 7. Dipolo de la molécula de agua.

El agua.

La molécula de agua con dos enlaces covalentes polares forma un dipolo debido a la distribución asimétrica de dichos enlaces (Fig. 7). Este carácter dipolar determina muchas de sus propiedades, algunas de ellas excepcionales.

El átomo de hidrógeno sólo puede formar un enlace covalente ya que dispone de un solo electrón. Ahora bien, si este enlace se une a un átomo muy electronegativo como el flúor, oxígeno o nitrógeno, el hidrógeno se polariza positivamente. Este hecho puede dar lugar a otro enlace adicional, el enlace por puente de hidrógeno formado entre un átomo de hidrógeno positivamente polarizado de una molécula y el extremo negativo de otra (Fig. 8).

Gracias a esta polaridad, sus moléculas tienden a asociarse entre sí mediante enlaces de hidrógeno. Este tipo de enlace es más débil que el enlace covalente pero su efecto se nota, así los puntos de fusión y de ebullición de las sustancias que lo poseen son mayores de lo que normalmente cabría esperar.

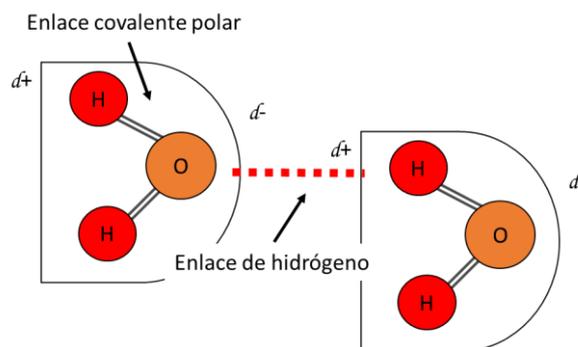


Figura 8. Esquema de un dímero de agua. La línea punteada representa la interacción tipo puente de hidrógeno.



## Recuerda

El agua es anfótera, es decir, puede reaccionar como ácido y como base.



## Actividades

1.4. Indica cuáles de las siguientes características corresponden al agua y cuáles no.

Características	Sí	No
1. En la naturaleza se encuentra en estado sólido, líquido y gaseoso.		
2. Es un gas a temperatura ambiente.		
3. Posee un elevado punto de ebullición		
4. Posee un bajo punto de fusión		
5. Es un dipolo		

1.5. Responde si las siguientes frases son verdaderas o falsas.

- a) El agua posee propiedades semejantes a las de otros compuestos moleculares.
- b) En la molécula de agua, el oxígeno y los dos átomos de hidrógeno están dispuestos en línea recta.
- c) El par de electrones del enlace covalente está más cerca del hidrógeno que del oxígeno, y por eso el agua se comporta como dipolo.
- d) El hielo ocupa más volumen que la misma masa de agua líquida.

1.6. Completa el siguiente texto.

“El oxígeno necesita \_\_\_\_\_ electrones para tener su último nivel energético completo, y por eso cada átomo de oxígeno comparte \_\_\_\_\_ electrones con cada uno de los \_\_\_\_\_ átomos de hidrógeno. El enlace entre cada hidrógeno y el oxígeno es un enlace \_\_\_\_\_”

1.7. ¿Cuántos electrones tienen en su último nivel electrónico los átomos de una molécula de agua?

1.8. ¿Qué quiere decir que el agua tiene naturaleza dipolar y qué propiedades de la misma se deriva de este hecho?

### 2.3. Estados: sólido, líquido y gaseoso.

Las condiciones reinantes en la superficie terrestre (aproximadamente 1 atmósfera de presión y una temperatura media de 15°C) no están muy alejadas del punto triple del agua, por lo que, se encuentra en la Tierra en sus tres estados físicos: sólido (hielo), líquido y gaseoso (vapor). Este hecho es único en el sistema solar, siendo consecuencia de nuestra distancia al Sol pues, en los planetas más cercanos a él, la temperatura es demasiado elevada, y en los más alejados es demasiado baja para ello.

Tanto la Meteorología como la Climatología se basan en los cambios de fase del agua, los cuales están promovidos por la energía solar.

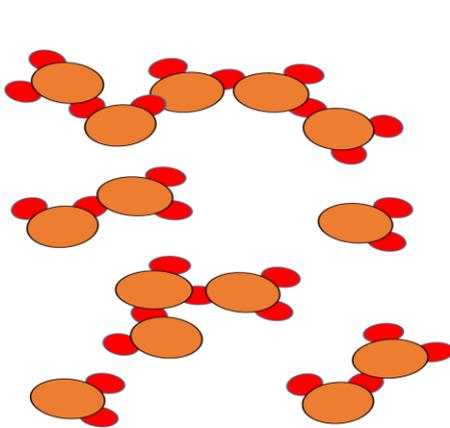


Figura 9. Moléculas de agua en estado líquido.

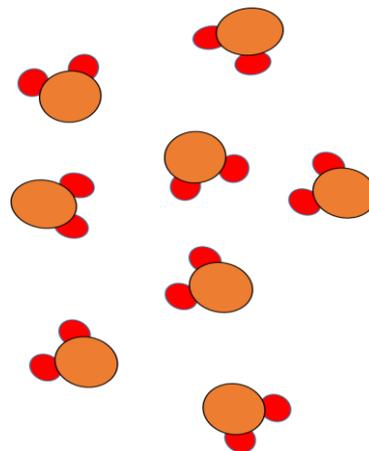


Figura 10. Moléculas de agua estado gaseoso.

Para que se produzca el cambio de estado de sólido a líquido, o de líquido a gas, es necesario suministrar energía que, evidentemente, se liberará en los procesos inversos. Estos cambios de estado dependen de la temperatura y presión.

El agua.

Gracias a la polaridad, las moléculas de agua tienden a asociarse entre sí por puentes de hidrógeno, se pueden formar grupos hasta de nueve moléculas, que duran fracciones de segundo, lo que determina que a temperatura ambiente el agua se encuentre en estado líquido (Fig. 9).

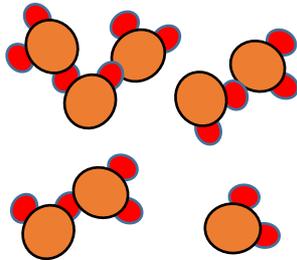
En el estado gaseoso las moléculas de agua están sueltas (Fig.10). En estado líquido varias moléculas se unen entre sí mediante atracciones electrostáticas y forman agrupaciones (Fig. 9) y en estado sólido estas fuerzas electrostáticas son más fuertes entre los dipolos, adoptando formas hexagonales (Fig.12).



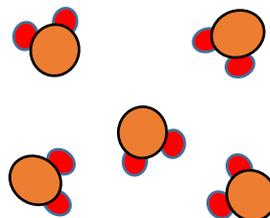
## Actividades

1.9. ¿Cuál de estos dibujos corresponde al agua en estado gaseoso, líquido y sólido? ¿Qué diferencias hay?

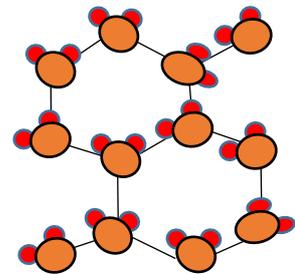
a)



b)



c)



1.10. ¿Por qué en la Tierra el agua puede estar en estado sólido, líquido y gaseoso?

### 3. TIPOS DE AGUA SEGÚN SU PROCEDENCIA. CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.

Con objeto de determinar la capacidad y condiciones de aprovechamiento de los recursos hidráulicos, se establecen varias clasificaciones. Las más utilizadas son según las propiedades físicas, químicas y biológicas o según sus usos.

#### 3.1. Según las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Sin duda alguna, el agua es uno de los elementos más importantes desde el punto de vista físico-químico, de hecho, sus temperaturas de transformación de un estado a otro han sido tomadas como puntos fijos, a pesar de que su punto de congelación y ebullición sean anormales, debido a las asociaciones moleculares por enlaces de hidrógeno.

Su importancia reside en que interviene en casi la totalidad de los procesos químicos que suceden en la naturaleza, no solo en los organismos vivos, sino también en la superficie de la tierra y en la industria.

3.1.1. Propiedades físicas.

Son aquellas cualidades que se pueden medir u observar sin alterar la composición de la sustancia. Dichas mediciones se reflejan a través de valores, teniendo como referencia un patrón.

3.1.1.1. Punto de ebullición del agua.

La estructura molecular del agua explica las propiedades generales de ésta, como su elevado punto de ebullición y fusión, Tabla 1, en comparación con sus análogos del mismo grupo del sistema periódico.

En la Tabla 2, se observan la temperatura de ebullición de los hidrácidos: ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), ácido selenhídrico ( $H_2Se$ ), ácido telurhídrico ( $H_2Te$ ). Si se siguiera la tendencia de estos compuestos, el agua debería hervir alrededor de  $-100\text{ }^\circ\text{C}$ , como se muestra en el valor extrapolado en la (Fig.11).

Tabla 1. Propiedades del agua

Peso molecular	18,016
Punto de fusión	$0\text{ }^\circ\text{C}$
Punto de ebullición	$100\text{ }^\circ\text{C}$



Figura 11. Puntos de ebullición de los hidruros no metálicos –hidrácidos–.

La razón que explica la mayor energía que es necesario aplicar para que el agua alcance su punto de ebullición a  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , responde a la formación de estructuras más estables producto de las atracciones ejercidas por los enlaces de hidrógeno.



## Recuerda

Para evaporar el agua se necesita mucha energía. Primero hay que romper los puentes de hidrógeno y posteriormente dotar a las moléculas de agua de la suficiente energía cinética para pasar de la fase líquida a la gaseosa

Tabla 2. Puntos de ebullición de los ácidos hidrácidos

Nomenclatura sistemática	Nomenclatura tradicional	Formula	Temperatura ebullición (°C)
Agua		H <sub>2</sub> O	100
Sulfuro de hidrógeno	Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	- 61,8
Seleniuro de hidrógeno	Ácido selenhídrico,	H <sub>2</sub> Se	- 42
Telururo de hidrógeno	Ácido telurhídrico	H <sub>2</sub> Te	- 2

### ? Sabías que...

El punto de ebullición del agua es de 100°C a nivel del mar, es decir, a la presión normal de 760 mm de Hg y en una montaña, este punto de ebullición es menor pues la temperatura cambia con la presión atmosférica.

#### 3.1.1.2. Densidad del agua.

Las sustancias tienen densidades diferentes, por lo que su medida es una vía útil para identificarlas. La densidad del agua líquida es altamente estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión.

Por regla general, la densidad de una sustancia disminuye al aumentar su temperatura, por lo que en estado sólido es más densa que en estado líquido.

Otra propiedad singular del agua es que su densidad aumenta al elevar la temperatura de 0 °C a 4 °C, a los que alcanza su valor máximo de 1000 Kg/m<sup>3</sup>. Por encima o por debajo de estas temperaturas su densidad disminuye, véase la Tabla 3. Por esa razón, el hielo, cuya densidad es 917 Kg/m<sup>3</sup> a 0°C, flota en el agua líquida

Tabla 3. Influencia de la temperatura en la densidad del agua

Temperatura (°C)	Densidad (g/cc)
0 (hielo)	0,91700
0 (agua)	0,99987
2	0,99997
4	1,00000
6	0,99997
10	0,99973
15	0,99913
20	0,99823
50	0,98807
100	0,95838

Este hecho también encuentra su explicación en la existencia de los enlaces de hidrógeno en la unión de dos moléculas de agua.

El hielo ordinario tiene una estructura rígida hexagonal que la hace menos densa que el agua, existe espacios, por tanto, flota, solo ocurre esto en el intervalo de temperatura de 0 a 4°C (Fig. 12). Esta anomalía tiene consecuencias importantes, pues el hielo que se forma en los ecosistemas acuáticos, no se hunde y debido a su baja conductividad térmica actúa como aislante térmico evitando la congelación de las profundidades y contribuyendo a la supervivencia de los organismos que viven en el agua. Los lagos se congelan desde la superficie hacia el fondo.

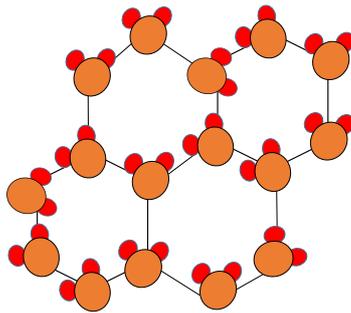


Figura 12. Estructura cristalina del hielo.

Este fenómeno se relaciona con la llamada anomalía del agua, que es una excepción a la regla general de que los sólidos son más densos que los líquidos: la densidad del agua líquida sobre 0 °C es mayor que la del hielo. En estado líquido aumenta hasta alcanzar su valor máximo exactamente a 3,98 °C (1g/mL). A temperaturas mayores que esa se comporta de manera normal, es decir, como los otros líquidos, disminuyendo su densidad cuando la temperatura aumenta.

### Sabías que...

El hecho de que el hielo sea menos denso que el agua tiene un significado ecológico profundo. Considérese, por ejemplo, los cambios de temperatura en el agua de un lago en un clima frío. A medida que la temperatura del agua cerca de la superficie disminuye, aumenta su densidad. Así, el agua más fría se sumerge hacia el fondo mientras que el agua caliente, que es menos densa, sube hacia la parte superior. Este movimiento normal de convección continúa hasta que la temperatura global del agua llega a 4°C. Debajo de esta temperatura, la densidad del agua empieza a disminuir, de tal forma ya no se asienta. Con un enfriamiento mayor, el agua comienza a congelarse en la superficie. La capa de hielo formada no se sumerge porque es menos densa que el líquido; más aún actúa como un aislante térmico para el agua que queda debajo. Si el hielo fuera más pesado, se iría al fondo del lago cada vez que el agua se congelara en la superficie, los organismos vivos que existen en el agua no sobrevivirán. Afortunadamente, esto no ocurre, y es esta propiedad excepcional del agua la que hace posible la pesca en los lagos helados.

#### 3.1.1.3. *Propiedades térmicas.*

El agua absorbe grandes cantidades de calor que utiliza para romper los enlaces por puentes de hidrógeno, por lo que la temperatura se eleva muy lentamente. El calor latente de fusión y de vaporización del agua es mucho más alto de lo que

El agua.

cabría esperar, como consecuencia de ello el agua tiene una gran capacidad reguladora de la temperatura.

Como se puede ver en la Tabla 4, posee elevados calores latentes, de fusión del hielo a 0 °C es de 80 cal/g (ó 335 J/g) y el de vaporación del agua líquida a 100 °C es 540 cal/g (ó 2260 J/g), siendo el calor específico del agua es 1 caloría /°C.

Tabla 4. Propiedades físicas del agua

Propiedades físicas del agua	
Calor latente de fusión a 0°C	79,7 calorías/ gramo
Calor latente de vaporización a 100 °C	539,5 cal/g
Calor específico	1 cal/g °C
Capacidad calorífica (líquido) a 15 °C	1 Kcal/ Kg °C
Capacidad calorífica (sólido) de -10 a 0°C	0,50 Kcal/ Kg °C
Capacidad calorífica (gas) de 100 a 120 °C	0,48 Kcal/ Kg °C

La capacidad calorífica es la cantidad de energía en forma de calor que se requiere para elevar en un grado centígrado la temperatura de una sustancia. La del agua es mayor a la de otros líquidos, sólo superada por el amoníaco. Dicha propiedad tiene que ver con la eficiencia con la que la energía absorbida redonda en un incremento de la energía cinética o energía de movimiento de las moléculas en una sustancia.

El agua “modera” las temperaturas terrestres al poseer un elevado calor específico, calores latentes y capacidad calorífica. Esto se debe a que las interacciones H<sub>2</sub>O- H<sub>2</sub>O por puentes de hidrógeno son significativamente más fuertes que las presentes en la mayoría de los líquidos.

Existe una creciente preocupación por el calentamiento global de la Tierra, ya que elevación de su temperatura media implica un empeoramiento de las condiciones climáticas debido a la reducción de la masa de hielo de los casquetes polares. Esto involucra la desaparición gradual de uno de los mecanismos que regulan la temperatura del planeta.

#### 3.1.1.4. Otras propiedades físicas.

Hay que mencionar otras propiedades físicas que también le infiere ciertas particularidades a la molécula del agua:

- Constante dieléctrica. Es una de las más elevadas que se conocen, de lo que se deriva su alta capacidad para disolver sustancias
- Conductividad eléctrica. Es la expresión numérica de la capacidad para transportar corriente eléctrica. El agua es ligeramente conductora, esto se debe a que parte de ella se encuentra dissociada en sus iones.
- Viscosidad. Disminuye cuando aumenta la presión, al contrario de otros líquidos.

- Cohesión. Es la propiedad con la que las moléculas de agua se atraen a sí mismas, por lo que se forman cuerpos de agua adherida a sí misma, las gotas.
- Adhesión. Es la propiedad con la que las moléculas de agua son atraídas y se mantienen adheridas a otras superficies, lo que se conoce comúnmente con “mojar”.
- Capilaridad. Es la propiedad de ascenso, o descenso, de un líquido dentro de un tubo capilar. Esto se debe a las propiedades de cohesión y adhesión.
- Tensión superficial. El agua tiene una gran atracción entre las moléculas de su superficie, por su propiedad de cohesión. Esta fuerza de tracción tiende a reducir lo más posible la extensión de dicha superficie -una consecuencia de ello sería el menisco cóncavo- (Fig. 13).



Figura 13. Menisco cóncavo del agua.

En el interior de un líquido cualquier porción está sometida a iguales fuerzas de cohesión en todas las direcciones. No hay una fuerza neta desequilibrada en alguna dirección. Esta situación cambia en la superficie, el líquido, generalmente en contacto con el aire, sólo recibe fuerzas cohesivas desde el interior, debido a que las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables (Fig.14).

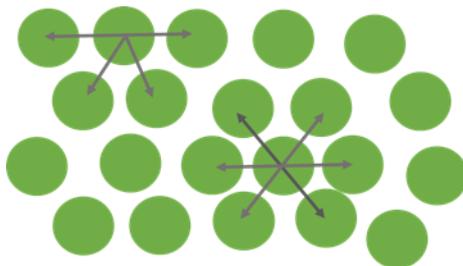


Figura 14. Efecto de la tensión superficial.



## Actividades

- 1.11. Cómo son los copos de nieve (cristales de hielo).
- 1.12. A partir de los datos de la Tabla 3, construye la curva que representa la influencia de la temperatura sobre la densidad del agua, e interpreta los distintos tramos.
- 1.13. ¿Qué importancia medioambiental tiene éste peculiar comportamiento del agua?

El agua.

1.14. ¿Qué propiedad influye en la forma de las gotas de agua?

### 3.1.2. Propiedades Químicas.

Las Propiedades químicas son aquellas que pueden ser observadas solo cuando la sustancia sufre un cambio en su composición.

El agua, debido a su naturaleza dipolar, es un excelente disolvente de numerosas sustancias, tanto inorgánicas como orgánicas. Disuelve con facilidad la mayoría de las sales y otros compuestos iónicos, ya que los cationes y aniones son atraídos por los dipolos del agua.

Igualmente, los gases del aire son solubles en el agua, aunque no todos tienen la misma solubilidad; por ejemplo, el oxígeno ( $O_2$ ) es menos soluble que el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), por lo que su proporción en el agua no es la misma que en el aire. Además, el agua también puede contener partículas de gran tamaño, en disolución coloidal o en suspensión.

Debido a su gran poder disolvente, el agua no se encuentra en la naturaleza en estado puro, pero, a pesar de ello, presenta una transparencia que permite la penetración de los rayos solares, al menos hasta una cierta profundidad. Esto es de gran importancia para los ecosistemas acuáticos, ya que los organismos fotosintéticos únicamente pueden desarrollarse donde hay luz.



### **Sabías que...**

El agua es una molécula altamente reactiva que puede disolver una gran variedad de sustancias iónicas (hidrófilas) y no disuelve otras sustancias moleculares apolares (hidrófobas).

El elevado poder de disolución del agua potencia sus efectos geológicos, como agente erosivo y también, es la causa de su susceptibilidad a la contaminación por una gran variedad de sustancias.

### 3.1.3. Propiedades biológicas.

El agua interviene como reactivo en las reacciones metabólicas, aportando iones hidrógeno ( $H^+$ ) o bien iones hidroxilos ( $OH^-$ ) al medio. Esta función como disolvente es básica para la vida, pues casi todas las reacciones biológicas tienen lugar en estado líquido y en medio acuoso.

El agua tiene una gran capacidad para disolver sustancias, ello es debido a su elevada constante dieléctrica y a su bajo grado de ionización ( $K_w=10^{-14}$ ). Es el medio en el que se producen todas las reacciones biológicas, actuando en muchas de ellas como sustrato o como producto. Así interviene:

- En la digestión o en la oxidación de los nutrientes, se producen reacciones de hidrólisis.
- En la transmisión nerviosa, debido a su alta constante dieléctrica ( $K=80$  a  $20^\circ C$ ), las disoluciones iónicas conducen la corriente eléctrica.

- En la organización macromolecular «bounded water». El efecto hidrofóbico de muchos de los 20 aminoácidos que forman las proteínas contribuye al plegamiento rápido de las cadenas polipeptídicas.

El cuerpo es esencialmente una disolución acuosa en la que gran cantidad de solutos (proteínas, vitaminas, glucosa, urea, sodio, cloro, potasio, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etc.) se disuelven en su seno.



## Actividades

- 1.15. ¿Por qué el agua, en la naturaleza, no se encuentra en estado puro?  
1.16. ¿Qué importancia tiene el agua en nuestro organismo?

### 3.2. De acuerdo a sus usos.

Los recursos hídricos se clasifican según su uso en seis tipos:

Tipo 1. Son las destinadas a uso doméstico y al uso industrial que requiere agua potable. Son industrias donde el agua forma parte o entra en contacto con el producto o subproducto que es destinado al consumo humano.

- Categoría 1A. Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
- Categoría 1B. Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales como la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y/o cloración.

Tipo 2. Aguas destinadas a usos agropecuarios.

- Categoría 2A. Aguas riego de vegetales destinados al consumo humano.
- Categoría 2B. Aguas destinadas para riego de cualquier tipo de cultivo y uso pecuario.

Tipo 3. Aguas marinas o medios costeros destinados a la cría y explotación de moluscos para consumo humano.

Tipo 4. Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistema. Existen dos categorías:

- Categoría 4A. Aguas para el contacto humano total.
- Categoría 4B. Aguas para el contacto humano parcial.

Tipo 5. Aguas destinadas para usos industriales que no requiera agua potable.

Tipo 6. Aguas destinadas para la navegación y generación de energía.

#### 4. EL CICLO DE AGUA.

Existe la misma cantidad de agua en la Tierra ahora, que cuando se creó. El agua en la Tierra se recicla, es decir, forma un ciclo que se le conoce como ciclo hidrológico (Fig. 15), cuyas etapas son:

- Condensación.
- Precipitación.
- Evaporación.
- Transpiración.

En este ciclo, el agua pasa de líquido a vapor y viceversa, esto sucede a causa de la temperatura (calor del sol) y de la gravedad.

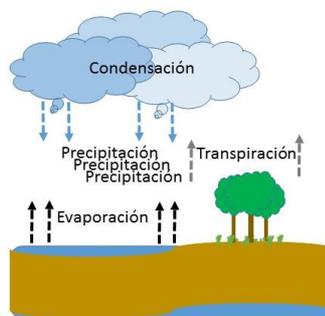


Figura 15. El Ciclo del Agua.

Una vez que el agua alcanza el suelo, por precipitaciones, puede fluir a través de la tierra hasta alcanzar los ríos, lagos, corrientes o el océano, agua de superficie o puede hundirse en el suelo hasta alcanzar un acuífero, agua subterránea.

El agua subterránea traspasa capas de arena, arcilla, piedra y grava, se filtra, por lo que es más limpia. Además, permanece bajo tierra, es más difícil que se contamine de plaguicidas, residuos domésticos etc.

Evaporación	Moléculas de agua de lagos, ríos, corrientes, depósitos y océanos se calientan por el sol y se transforman en vapor.
Transpiración	También las plantas son calentadas por el sol y mandan moléculas de vapor de agua al aire por sus hojas.
Condensación	Este vapor de agua debido a las bajas temperaturas se enfría y se condensa formando nubes
Precipitación	El vapor condensado pasa a líquido en forma de lluvia. Si baja tanto la temperatura que se congela, forma la nieve o aguanieve.

#### Sabías que...

El ciclo de agua nos revela que utilizamos y volvemos a emplear la misma agua que ha estado en la tierra desde el principio de los tiempos, pero mientras que la cantidad de agua es la misma, no ocurre lo mismo con la calidad del agua, ésta ha disminuido, se ha contaminado.

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemorables, las basuras producidas por la actividad humana.

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación -autodepuración-. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea un vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por la actividad humana. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida.

## **5. FUENTES DE AGUA PARA LA INDUSTRIA.**

El término fuente proviene del latín “fons” tiene distintos usos. Una fuente de agua es el manantial que brota de la tierra.

Al elegir una fuente para el abastecimiento debe considerarse los requerimientos de la población, disponibilidad y calidad del agua durante todo el año, así como todos los costes, tanto de inversión como de operación y mantenimiento.

Los acuíferos y los ríos no son aguas aisladas entre sí, pues según su relación con los acuíferos, los ríos pueden ser:

- Corrientes efluentes. Si se abastecen de agua subterránea.
- Corrientes influentes. Si abastecen a un acuífero.

Ello depende de si el nivel freático corta el cauce del río, o queda por debajo de él.

Existen distintas clasificaciones de fuentes de agua, se van a mencionar dos:

- a) Fuentes de abastecimiento de agua.
- b) Fuentes superficiales y subterráneas.

### **5.1. Fuentes de abastecimiento de agua.**

Las principales fuentes de agua para la industria son:

- a) A través de una red pública. Se refiere al volumen de agua que recibe la industria a través de una red urbana de abastecimiento de agua. Por regla general, se trata de agua potabilizada para consumo humano.
- b) Captación propia. Se refiere al agua captada con las instalaciones y equipos de la propia industria. Dicha agua puede tener diversos orígenes:
  - Aguas superficiales: incluyen el agua de los ríos, escorrentías superficiales, lagos, así como los cursos de agua artificiales como canales de riego, industriales y de navegación, sistemas de drenaje y embalses artificiales.
  - Aguas subterráneas: incluyen a las aguas de los acuíferos, aquí también están las provenientes de manantiales. Generalmente, se extraen por medio de pozos o perforaciones.
  - Agua de mar: incluyen a las aguas salobres de transición marina. Se distingue el agua de mar que es desalada antes de su uso de la que se utiliza directamente sin necesidad de desalación.

El agua.

- Otros tipos de recursos hídricos: pueden ser aguas pluviales almacenadas directamente en aljibes o depósitos, así como agua proveniente de balsas de decantación o de aguas estancadas, agua contenida en la materia prima, agua suministrada por comunidades de regantes, etc. Por regla general, estos recursos son de escasa importancia en comparación con los citados anteriormente.

## **5.2. Fuentes superficiales y subterráneas.**

Según la procedencia del agua, existen tres fuentes de abastecimiento:

- a) Superficiales: lagos, ríos, canales, etc.
- b) Subterráneas: acuíferos, manantiales, pozos, etc.
- c) Pluviales: aguas de lluvia.

### 5.2.1. Fuentes superficiales.

El agua de superficie es el agua más fácil de entender es la que vemos cada día. Es cualquier agua que viaja o se almacena encima del suelo. Son las aguas de los ríos, lagos, océanos, embalses, arroyos, etc.

Se trata antes de ser bebida porque puede llevar sustancias contaminantes provenientes de la descarga de desagües domésticos, residuos de actividades mineras o industriales, plaguicidas, presencia de animales, residuos sólidos, y otros.

En caso de la utilización de aguas superficiales para abastecimiento, además de conocer las características físicas, químicas y bacteriológicas de la fuente, será preciso definir el tratamiento requerido en caso que no cumplan con los requerimientos de calidad para consumo humano.

### 5.2.2. Fuentes subterráneas.

La captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes y pozos etc.

Los pozos pueden ser:

- Pozos de gravedad: son muy usados en los acuíferos libres, donde la superficie freática está en contacto con el aire y, en consecuencia, a presión atmosférica. En estos pozos, se perfora el terreno hasta llegar a la zona de saturación, con lo que el agua dentro del pozo alcanzará la altura del nivel freático, y ha de ser llevada a la superficie venciendo la fuerza de la gravedad, generalmente por medio de bombas (Fig. 16).
- Pozos surgentes y artesianos: son aquéllos en los que el agua llega a la superficie gracias a su propia presión natural. Las formaciones geológicas necesarias para su producción son los acuíferos confinados o cautivos. En ellos, el agua satura totalmente los poros y se encuentra a una presión superior a la atmosférica, no existiendo nivel freático. En estos casos existe un nivel piezométrico (Fig. 17). Si este nivel queda por encima de

la superficie del terreno, se trata de un pozo surgente, y se queda por debajo, de un pozo artesiano.

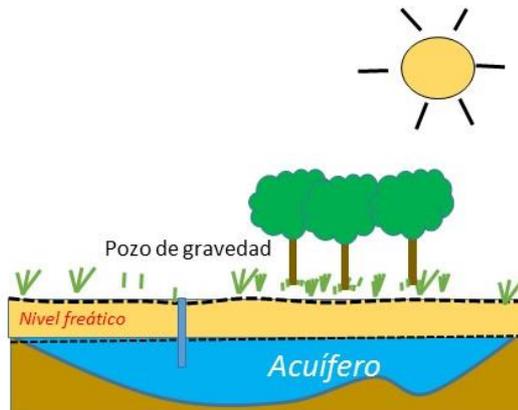


Figura 16. Pozos de gravedad

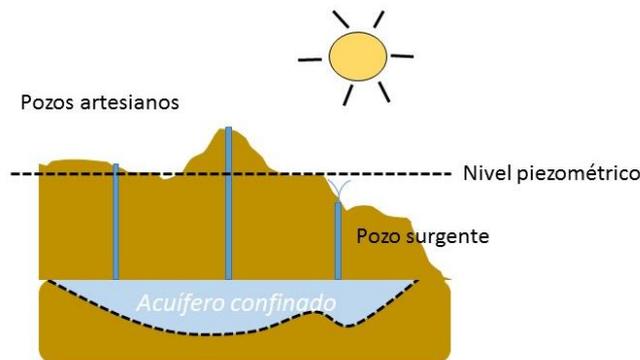


Figura 17. Pozos surgentes y artesianos.

Las aguas subterráneas, generalmente, están libres de microorganismos patógenos y presentan una calidad compatible con los requisitos para consumo humano. Sin embargo, previamente a su utilización es fundamental conocer las características del agua, para lo cual se requiere realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos correspondientes. La mitad de las personas en los Estados Unidos utiliza agua de suelo para beber.

Algunas industrias de envasado y embotellado de agua, utilizan agua subterránea más que agua de superficie porque es más limpia.

### 5.2.3. Fuentes pluviales.

Son aquellas que se originan durante los fenómenos meteorológicos en forma de precipitaciones dando como resultado lluvia, nieve, granizo, etc. Las aguas pluviales que no se filtran fluyen superficialmente y se denominan escorrentías superficiales.

Lee



### El consumo del agua embotellada y medioambiente

#### 1. ¿A quién beneficia el consumo de agua embotellada?

Por supuesto a las empresas que se dedican a comercializar el agua. Ellas se han dedicado a vendernos la necesidad de consumir este tipo de agua por cualquier razón que se les ha podido ocurrir.

¿Quieres adelgazar? El consumo de dos litros de agua envasada de la marca "tal" te ayudará a perder esos kilos que te sobran.

¿Haces deporte? Debes beber una gran cantidad de la marca de agua "cual" que restituirá a tu organismo todos los minerales que pierdes sudando.

Son estrategias de las grandes marcas para que nos olvidemos del agua de la red y nos pasemos al consumo de agua embotellada, con lo que lograremos grandes beneficios para nuestra salud, o ¿para sus bolsillos?

Además, los medios de comunicación idealizan el agua embotellada ignorando el daño ambiental que causa.

#### 2. El agua del grifo ¿es segura?

Bueno pues en contra de lo que nos venden parece ser que, salvo algunas excepciones, el consumo de agua de las redes municipales es más seguro, más sano, más barato y mucho más ecológico.

Y debemos saber que, en realidad, cerca del 40% del agua embotellada es originalmente agua del grifo; la única diferencia es, a menudo, los minerales agregados que no representan ningún beneficio concreto para la salud.

En algunos lugares se está empezando a animar a los consumidores a que vuelvan a beber el agua del grifo.

#### 3. Problemas del agua embotellada.

Uno de los grandes problemas del agua embotellada son las botellas de plástico que la contienen, verdadera plaga para el medio ambiente.

El plástico que se usa para la fabricación de las botellas deriva del petróleo crudo.

Solo para el mercado americano se requieren 1,5 millones de barriles de petróleo, que serían suficientes para que 100.000 coches funcionarían durante un año. En todo el mundo se utilizan cerca de tres millones de toneladas de plástico para embotellar el agua.

Hay que sumar la energía que se consume en las plantas embotelladoras y, por supuesto, el combustible que se usa para el transporte del agua una vez embotellada. En algunos lugares la extracción del agua para su embotellamiento deja a los lugareños sin agua en sus redes locales y provoca grandes desequilibrios en el medio ambiente.

Debemos tener en cuenta

- Que una botella de plástico tarda más de 700 años en descomponerse y cuando lo hace sigue contaminando.
- Una gran parte de lo que pagamos por el agua embotellada es por la botella, alrededor del 90%.
- Solo un 20% de las botellas son recicladas.
- Se necesitan unos cien millones de litros de petróleo para fabricar mil millones de botellas.
- Que se necesitan siete litros de agua para producir uno de agua embotellada. El agua del grifo es, cuando menos, de la misma calidad que el agua embotellada.
- El consumo de agua embotellada es mucho más caro que el consumo de agua de red.

- Los bidones de plástico donde está envasada el agua, están hechos de policarbonato, el cual libera Bisphenol A (BPA) que se disuelve en el agua que luego nos bebemos. "El BPA puede ser una de las sustancias más tóxicas conocidas por la humanidad".

#### Ejemplos a seguir

Los habitantes de Bundanoon, pequeña ciudad australiana, decidieron por unanimidad acabar con las botellas de agua, preocupados por el impacto del plástico en el medio ambiente. También han conseguido evitar que una compañía embotelladora explotara los acuíferos del pueblo.

En Alemania y Austria se está imponiendo el uso de botellas de vidrio, muchos más reutilizables y reciclables que las de plástico.

En Francia y California, algunos famosos restaurantes se niegan a servir agua embotellada, aconsejando el consumo del agua del grifo.

Por último, debemos ser responsables con el consumo del agua embotellada y pasarnos al agua del grifo si en nuestra localidad no está desaconsejada. Recordemos que muchas personas en nuestro planeta se mueren de sed.

## 6. CALIDAD DEL AGUA EN LA FUENTE.

La calidad del agua no es un término absoluto, es algo que siempre se dice en relación con el uso o actividad a que se destina: calidad para beber, calidad para riego, etc. Es indiferente que la falta de calidad se deba a causas naturales -el agua contendrá impurezas- o artificiales -el agua contendrá contaminación-.

Interesa, pues, conocer la calidad del agua para determinar si es adecuada a la actividad destinada:

- Agua potable para usos domésticos, urbanos e industriales, agrícolas, ganaderos, etc.
- Agua para el baño, pesca, navegación.
- Agua como medio acuático que acoge a un ecosistema.
- Agua como receptor de efluentes residuales.

### 6.1. Calidad requerida para que sea potable.

El agua en la naturaleza contiene impurezas, que pueden ser de naturaleza físico-química o bacteriológica y varían de acuerdo al tipo de fuente. Cuando las impurezas presentes sobrepasan los límites recomendados, el agua deberá ser tratada antes de su consumo. Además de no contener elementos nocivos para la salud, el agua no debe presentar características que puedan rechazar el consumo.

La calidad del agua debe ser evaluada antes de la construcción del sistema de abastecimiento.

Agua potable es aquella que cumple con los requerimientos de las normas y reglamentos nacionales sobre calidad del agua para consumo humano. Básicamente son aquellas aguas que no contienen microorganismos que causen enfermedades (Fig. 18); ni compuestos nocivos para la salud, ni compuestos que causen corrosión o incrustaciones en las instalaciones y es aceptable para consumo -con color, gusto y olor aceptables-.

El agua.

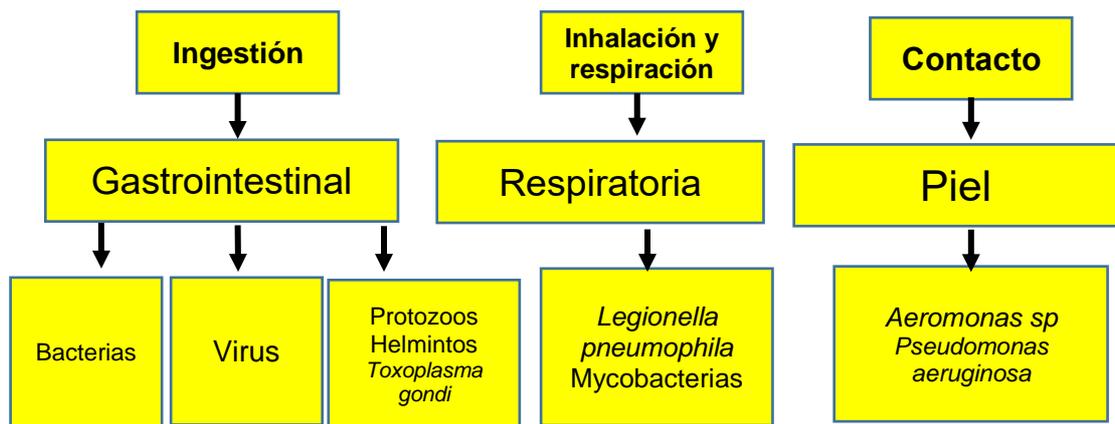


Figura 18. Vías de contaminación y ejemplos de patógenos relacionados con el agua.

El agua para consumo humano debe cumplir los estándares de calidad establecidos por las normas vigentes de cada país.

Las “Guías para la Calidad del Agua de Consumo Humano” de la Organización Mundial de Salud (OMS) establecen las recomendaciones de los valores límites para los diferentes contaminantes que pueden ser encontrados en el agua de consumo humano.

Estos valores Guía, son cantidades que se recomiendan para que el agua pueda ser consumida de forma segura, porque está libre de elementos químicos nocivos y microorganismos patógenos.

La bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*) es el indicador más preciso de contaminación fecal en el agua. En caso de su detección en agua de consumo, se deben realizar pruebas confirmativas.

## 6.2. La protección de las fuentes.

La protección de fuentes de agua o de nacimientos es un conjunto de prácticas que se aplican para mejorar las condiciones de producción de agua, en calidad y cantidad, reducir o eliminar las posibilidades de contaminación y optimizar las condiciones de uso y manejo.

Estas prácticas pueden ser:

- En el área de recogimiento de la fuente. Aumentar la infiltración de agua en el suelo, recargar la capa freática que la sostiene y evitar la contaminación.
- En el afloramiento del agua. Mejorar la captación y eliminar la contaminación local.
- En el uso y manejo del agua. Evitar los desperdicios y la contaminación, tanto local como aguas abajo.

## Investiga

Busca la propuesta de clasificación de Zonas protegidas de la Planificación hidrológica en la Directiva Marco del Agua, art 6, ¿es adecuada? ¿qué mejorarías?

### 7. FORMAS DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

Los contaminantes tienen un impacto significativo en la calidad del agua, sin embargo, son difíciles de definir y cuantificar, por ese motivo, muchas veces, los programas de control no las tienen en consideración adecuadamente.

Las formas de contaminación del agua se dividen en dos tipos: puntuales y no puntuales.

#### 7.1. Formas puntuales.

Los vertidos puntuales son descargas en puntos definidos que llegan a las aguas superficiales a través de colectores, desagües -ya sean urbanos o de industrias-, emisores, etc.

Los desagües domésticos presentan una gran cantidad de contaminantes que pueden provocar daños al medioambiente, por ese motivo deben ser tratados antes de su disposición final.

La contaminación producida por el hombre -contaminación antrópica- es puntual porque se origina en un foco emisor determinado y afecta a una zona concreta.

La contaminación térmica producida al verter aguas calientes a un río, lago, etc, produce la elevación de la temperatura en el medio receptor que actúa como catalizador de las reacciones potenciando la proliferación indeseada de plantas acuáticas y hongos.

#### 7.2. Formas no puntuales.

La contaminación difusa o no puntual está asociada a las aguas de lluvia, deshielo, percolación etc.

La contaminación natural es difusa y se debe al arrastre de partículas o de gases atmosféricos por las gotas de lluvia, pólenes, hojas secas u otros residuos vegetales y a excrementos de peces o de aves acuáticos. La capacidad natural de autodepuración de la naturaleza hace que sea eliminada en su mayor parte.

### 8. CONSUMO SOSTENIBLE. GESTIÓN DEL AGUA.

El agua es un recurso natural esencial y escaso, su uso en nuestra vida diaria es fundamental para gozar de una buena salud e higiene, también se emplea como elemento de limpieza de nuestro hogar.

Es evidente que el consumo de este recurso es inevitable, por lo que debemos hacer un uso responsable y consciente de éste.

El consumo de agua está aumentando en el mundo. Es probable que la disponibilidad de una cosa tan básica y fundamental como el agua sea durante los próximos años uno de los problemas más urgentes y desestabilizadores relacionados con los recursos.

## El agua.

En el año 2025, dos terceras partes de la población mundial podrían padecer los efectos de la escasez de agua.

Se entiende por desarrollo sostenible aquel que permite compatibilizar el uso de los recursos con la conservación de los ecosistemas. En cambio, el uso y abuso de los recursos naturales provoca un efecto sobre los ecosistemas de donde se extraen.

En la actualidad 2 mil millones de personas no tienen acceso al agua potable, más de 4 mil millones de personas de todo el mundo no tienen agua corriente en casa. En algunas zonas de África, las mujeres y los niños transportan hasta 20 litros de agua, durante más de 5 horas, desde las fuentes de agua más próximas a sus hogares. En los países industrializados, un hogar urbano medio de 4-6 personas gasta 640 litros de agua al día.

Las buenas prácticas en la gestión de este recurso agua serán las que tengan por finalidad:

1. Disminuir el gasto de agua, disminuyendo su consumo o reciclando y reutilizando al máximo el suministro.
2. Extraerla con el menor deterioro posible de los ecosistemas, es decir dejando una parte para el desarrollo normal de ríos, humedales y acuíferos subterráneos.
3. Devolverla a las aguas naturales en condiciones aceptables para que el impacto sobre los ecosistemas sea mínimo, para el caso de las aguas superficiales, se mide como calidad del agua aquella que permite el baño y evita graves pérdidas piscícolas. Esto se consigue contaminando lo menos posible en su uso y procediendo luego a un tratamiento de depuración.
4. Realizar la descontaminación del agua con un mínimo gasto energético e impacto ecológico.

Hay que considerar también que el hombre influye sobre el ciclo del agua de dos formas distintas, bien directamente, mediante extracción de las mismas y posterior vertido de aguas contaminadas o bien indirectamente, alterando la vegetación y la cobertura del suelo.

Serán buenas prácticas también aquellas que vayan encaminadas a la conservación del suelo y la vegetación, siendo de notable interés la conservación de la vegetación de las riberas que, además de aumentar la biodiversidad, hace de filtro reteniendo nutrientes y numerosos contaminantes.

### Sabías que...

La Asamblea General de Naciones Unidas, aprobó el 28 de julio de 2010, en su sexagésimo cuarto período de sesiones, una resolución que reconoce al agua potable y al saneamiento básico como derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos.

## Resumen

El agua es el resultado de la combinación de dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno. El ángulo entre los dos átomos de hidrógeno es de  $105^\circ$  aproximadamente.

Debido a la gran diferencia de electronegatividad entre el hidrógeno y el oxígeno, el agua va a ser un líquido polar, en este estado se encuentra asociadas varias moléculas por unos enlaces especiales llamados por puente de hidrógeno.

Además, el agua tiene unos valores elevados para el calor específico y calores latentes -de fusión y vaporización- que le aportan una gran capacidad para regular la temperatura, y en su constante dieléctrica -una de las más elevadas que se conocen- de lo que se deriva su alta capacidad para disolver sustancias.

La naturaleza tiene capacidad de autodepurarse, es decir, es capaz de reciclar el agua. La cantidad de agua es la misma que cuando la tierra se creó, pero su calidad es menor.

La contaminación puede tener una localización puntual o difusa -no puntual-, la primera es debido a contaminantes que se vierten a las aguas desde puntos localizados geográficamente, sucede con los vertidos industriales, los desechos domésticos y sanitarios que se descargan a través de una tubería. Mientras, que la no puntual lo hace de manera difusa, es decir, sin una delimitación geográfica concreta, éste es el caso de las actividades mineras, agrícolas y forestales, de construcción, etc., que los contaminantes llegan a las aguas por la escorrentía superficial o por infiltración.

El agua que hay en la tierra es la misma en cantidad, sin embargo, su calidad es peor, debido a los contaminantes que se han disuelto en ella, por todo ello, se debe hacer un uso responsable del agua.



## Prácticas

### Practica 1: Construcción de una molécula del agua.

Objetivos.

- Conocer la estructura de una molécula de agua.
- Diferenciar entre átomo y molécula.

Material.

- Modelo de bolas o de bolas y varillas.

Procedimiento.

1. Elegir un átomo de un átomo de oxígeno, dos de hidrógeno y dos enlaces.
2. Enlazar los tres átomos.

El agua.



Figura 19. Construcción de una molécula de agua.

Observa.

- El ángulo que forma cada átomo de hidrógeno con el oxígeno.

### Práctica 2: Reacción química del agua.

Objetivos.

- Conocer la reacción de formación de una molécula de agua a partir de sus elementos.
- Entender la ley de conservación de la masa.

Material.

- Modelo de bolas o de bolas y varillas.

Procedimiento.

1. Elegir cuatro átomos de hidrógeno y formar dos moléculas diatómicas.
2. Elegir dos átomos de oxígeno y formar una molécula diatómica.
3. A partir de las moléculas formadas, construir las dos moléculas del agua que se forman.

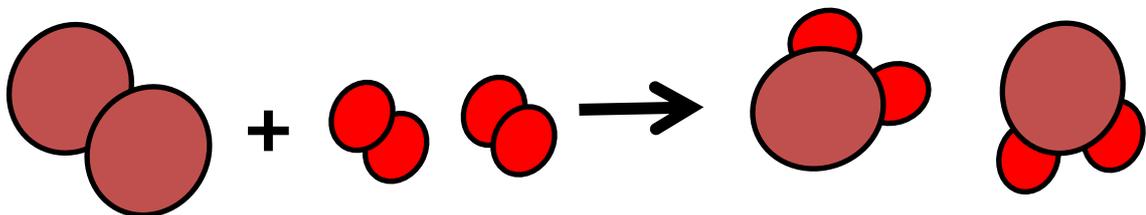


Figura 20. Reacción química del agua.

Observa.

En la reacción entre  $H_2$  y  $O_2$  para producir  $H_2O$ , los átomos ni se crean, ni se destruyen, sino que se disponen y combinan de forma diferente, seis átomos antes y seis átomos ahora. Se cumple la ley de conservación de la masa.

### Practica 3: Tensión superficial del agua.

#### Objetivos.

- Comprender la tensión superficial del agua.

#### Materiales.

- Crisol grande o plato hondo blanco.
- Pimienta.
- Palito de naranja o bastoncillo.
- Jabón.

#### Procedimiento.

1. Llenar el crisol o plato con agua.
2. Añadir pimienta.
3. Humedecer el palito o bastoncillo con jabón.
4. Tocar la superficie en el medio.



Figura 21. Tensión superficial del agua.

#### Observa.

El agua tiene un alto valor de tensión superficial, quedando las moléculas de la superficie fuertemente atraídas y en contacto con el jabón, se reduce, emigrando las pimienta hacia el exterior.

## Actividades



## Autoevaluación

### 1.El hielo presenta:

- a) Una baja conductividad térmica.
- b) Más densidad que el agua.
- c) Alta capacidad para disolver sustancias.
- d) Todas son verdaderas.

### 2.El gran poder disolvente del agua es debido a:

- a) Su naturaleza polar.
- b) Los enlaces por puente de hidrógeno.
- c) Su capacidad calorífica.
- d) Todas son falsas.

### 3. Las fuentes subterráneas del agua son:

- a) Pozos.
- b) Acuíferos.
- c) Manantiales.
- d) Todas son verdaderas

### 4. Una forma de contaminación no puntual es:

- a) Emisores.
- b) Desagües.
- c) Industrias.
- d) Deshielo.

### 5. Dentro de las aguas superficiales se encuentran:

- a) Torrentes y ríos.
- b) Aguas salvajes y aguas encauzadas.
- c) Las opciones a y b son verdaderas.
- d) Las opciones a y b son falsas.

### 6. Una propiedad física:

- a) Produce un cambio irreversible.
- b) Sufre un cambio en su composición.
- c) Afecta a la naturaleza de las sustancias.
- d) Todas son falsas.

### 7. La elevación de la temperatura en las aguas produce:

- a) Aumento de la velocidad de las reacciones.
- b) Menor solubilidad del oxígeno.
- c) Proliferación indeseada de plantas acuáticas y hongos.
- d) Todas son verdaderas.

### 8.El agua es capaz de absorber o perder grandes cantidades de calor debido.

- a) Carácter polar.
- b) Los puentes de hidrógeno.
- c) Calor específico.
- d) Capacidad calórica.

### 9.El ángulo entre los átomos de hidrógeno es de:

- a) 90°
- b) 95°

- c) 100°
- d) 105°

**10. Las moléculas de agua tienden a asociarse entre sí mediante enlaces de puente de hidrógeno por:**

- a) Su poder disolvente.
- b) Por ser un dipolo eléctrico.
- c) Su elevado punto de ebullición.
- d) Por su densidad.

**Soluciones**

**1. a; 2. a; 3. d; 4. d; 5. c; 6. d; 7. d; 8. c; 9. d; 10. b.**



## Soluciones Actividades



**1.1.) ¿Cuántos electrones tienen en su último nivel electrónico el átomo de oxígeno y el átomo de hidrógeno?**

El átomo de hidrógeno tiene un solo electrón en el último nivel electrónico y el oxígeno tiene seis electrones.

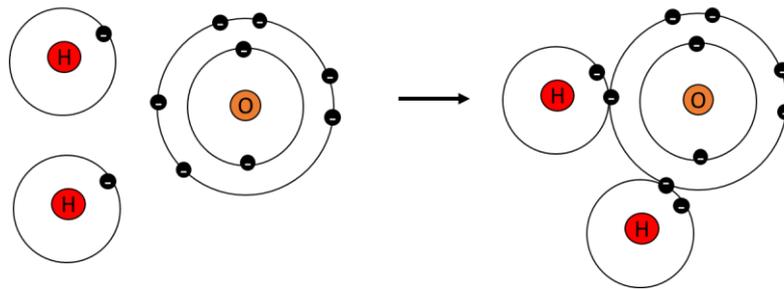
**1.2.) Escribe la configuración electrónica del átomo de oxígeno (Z= 8) y del hidrógeno (Z=1).**

Para el oxígeno:  $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$

Para cada hidrógeno:  $1s^2$

**1.3.) A partir de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, dibuja la molécula del agua, señalando los dos enlaces covalentes.**

La molécula del agua se forma compartiendo el oxígeno un electrón con cada átomo de hidrógeno.



**1.4.) Indica cuáles de las siguientes características corresponden al agua y cuáles no.**

1. Sí.      2. No.      3. Sí.      4. No.      5. Sí.

**1.5.) Responde verdadero o falso.**

a) Falsa      b) Falsa      c) Falsa      d) Verdadera.

**1.6.) Completa el siguiente texto.**

2; 2; 2; covalente.

**1.7.) ¿Cuántos electrones tienen en su último nivel electrónico los átomos de una molécula de agua?**

Cuando forma una molécula, el hidrógeno tiene dos y el oxígeno ocho electrones en su último nivel electrónico.

**1.8.) ¿Qué quiere decir que el agua tiene naturaleza dipolar y qué propiedades de la misma se deriva de este hecho?**

Por la forma de la molécula del agua, se queda el oxígeno con “cierta” carga negativa y el hidrógeno con “cierta” carga positiva, esto la hace conductora de la electricidad. Debido a esta polaridad las moléculas de agua se asocian entre sí por unos enlaces llamados “por puente de hidrógeno”, como consecuencia de ello el agua regula la temperatura terrestre, debido a propiedades excepcionales (elevado punto de fusión, de ebullición, de calor latente de fusión y evaporación, elevada capacidad calorífica...).

**1.9.) ¿Cuál de estos dibujos corresponde al agua en estado gaseoso, líquido y sólido? ¿Qué diferencias hay?**

a) Líquido      b) gas      c) sólido

En estado gaseoso las moléculas están sueltas, en el líquido forman agrupaciones y en estado sólido adopta una forma hexagonal.

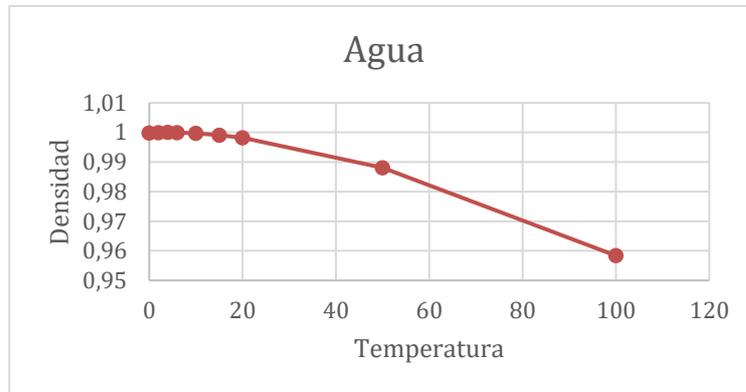
**1.10.) ¿Por qué en la Tierra el agua puede estar en estado sólido, líquido y gaseoso?**

Porque las condiciones de temperatura y de presión atmosférica en la Tierra ( $273,15^\circ\text{K}$ ; 1 KPa), están muy cerca del punto triple del agua ( $273,16^\circ\text{K}$ ; 0,61 KPa).

**1.11.) Cómo son los copos de nieve (cristales de hielo).**

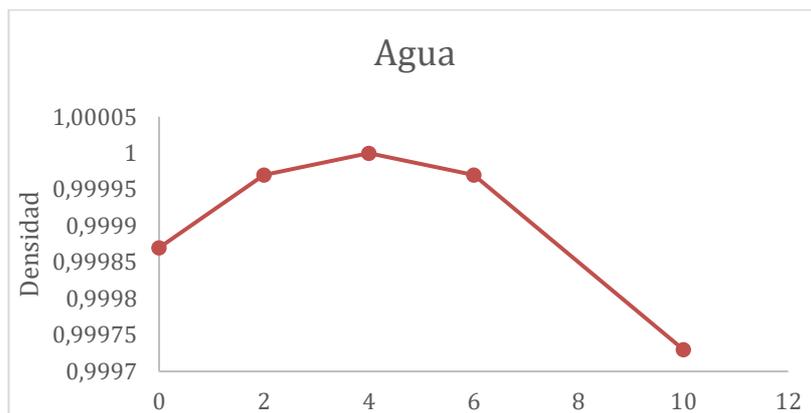
Tienen una forma hexagonal, una molécula de agua está unida a otras cinco, todas con esa forma.

**1.12.) A partir de los datos de la Tabla 3, construye la curva que representa la influencia de la temperatura sobre la densidad del agua, e interpreta los distintos tramos.**



La densidad del agua líquida sobre 0°C es mayor que la del agua sólida (hielo). En estado líquido aumenta hasta alcanzar su valor máximo exactamente a 3,98°C (1g/mL). A temperaturas mayores que esa se comporta de manera normal, es decir, como los otros líquidos, disminuyendo su densidad cuando la temperatura aumenta.

Interesa el intervalo de 0 a 4 °C, donde el agua presenta un comportamiento anómalo.



**1.13.) ¿Qué importancia medioambiental tiene éste peculiar comportamiento del agua?**

El hielo presenta una menor densidad que el agua en estado líquido en el intervalo de temperaturas de 0 a 4° C. Esto explica que, el hielo, queda en la superficie de los mares y lagos y no se produce el congelamiento completo de estas masas de agua.

**1.14.) ¿Qué propiedad influye en la forma de las gotas de agua?**

Las gotas de agua son como “panecillos de hamburguesa”, esto es debido a la tensión superficial.

**1.15.) ¿Por qué el agua, en la naturaleza, no se encuentra en estado puro?**

Porque es capaz de disolver a una gran cantidad de sustancias tanto inorgánicas como orgánicas, son sustancias hidrófilas; en cambio otras no se disuelven en ella como el aceite, son sustancias hidrófobas.

**1.16.) ¿Qué importancia tiene el agua en nuestro organismo?**

El cuerpo humano está compuesto en un 70% de agua. El 80% de la sangre es agua, es un poderoso disolvente de muchas sustancias, éstas son transportadas dentro del torrente sanguíneo, siendo el medio en el que se producen todas las reacciones biológicas.