

LA RELACIÓN ESTRUCTURA- PROPIEDADES- FUNCIONES DEL AGUA. UNA PROPUESTA INTERDISCIPLINARIA EN LA FORMACIÓN DEL PROFESOR DE CIENCIAS NATURALES

Nelson Duany Timosthe

María de los Milagros Torres Elers

Universidad de Ciencias Pedagógicas Frank País García Santiago de Cuba, Cuba

nduany@ucp.sc.rimed.cu

milagrote@ucp.sc.rimed.cu

RESUMEN

La formación del profesor de Ciencias Naturales requiere que la interdisciplinariedad se convierta en una manera de pensar y de proceder para enfrentar satisfactoriamente la práctica de la enseñanza de las asignaturas de esta área de conocimientos en el nivel medio escolar. Se selecciona el estudio del agua para ilustrar la interrelación de los contenidos de disciplinas químicas, biológicas y geográficas en el análisis de la relación estructura –propiedades-funciones de esta sustancia, como relación de esencia que propicia el desarrollo del pensamiento lógico de los estudiantes a la vez que contribuye a la formación de modos de actuación en estos. Para la realización de este trabajo se utilizaron métodos del nivel teórico y empírico. Su implementación en clases permitió afirmar que la modelación realizada constituye una contribución eficaz para el desarrollo de la interdisciplinariedad en correspondencia con las necesidades actuales de la formación de este docente.

Palabras claves; interdisciplinariedad, estructura, propiedades, funciones, agua

INTRODUCCIÓN

El agua es una sustancia sorprendente. En la actualidad existen varios argumentos a favor de tal calificativo para este óxido e hidruro covalente a la vez aunque no es usual clasificarla como tales. Si hurgamos en la historia del desarrollo y acumulación del conocimiento científico sobre esta sustancia no dudamos encontrar que, tal vez, en momentos puntuales se le haya considerado como impredecible, mágica, entre otros calificativos, nada de lo cual sería un a exageración.

Más, no es la intención de este trabajo exponer argumentos que redunden en las inesperadas propiedades del agua, mucho menos sobre su importancia, aspectos estos profusamente tratados en importantes obras de autores extranjeros y cubanos. Se pretende aquí exponer una variante metodológica para explicar la **relación estructura- propiedades- funciones** del agua, lo cual puede ser válido para cualquier institución docente donde se explique este contenido.

El profesor de Ciencias Naturales debe poseer profunda preparación en estos contenidos ya que es en las asignaturas de esta área de conocimientos donde se estudia el agua y diversos aspectos de esta sustancia lo cual debe hacerse a partir del establecimiento de relaciones interdisciplinarias entre los contenidos de estas asignaturas.

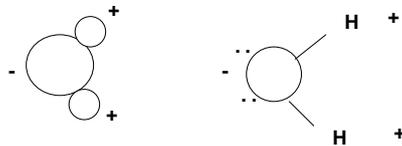
DESARROLLO

La estructura del agua y su relación con las propiedades físicas.

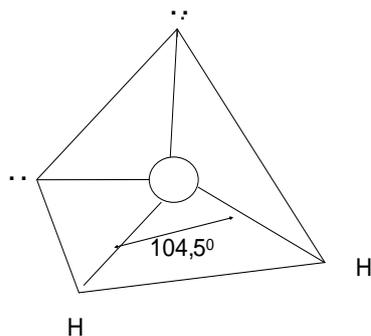
El agua es la única sustancia que existe a temperaturas ordinarias en los tres estados de la materia, o sea, sólido, líquido y gas. Como sólido o hielo se encuentra en los glaciares y los casquetes polares, así como en las superficies de agua en invierno; también en forma de nieve, granizo y escarcha, y en las nubes formadas por cristales de hielo. Existe en estado líquido en las nubes de lluvia formadas por gotas de agua, y en forma de rocío en la vegetación. Además, cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre en forma de pantanos, lagos, ríos, mares y océanos. Como gas, o vapor de agua, existe en forma de niebla, vapor y nubes. El vapor atmosférico se mide en términos de humedad relativa, que es la relación de la cantidad de vapor de agua en el aire a una temperatura dada respecto a la máxima que puede contener a esa temperatura.

En los organismos vivos las funciones que desempeña el agua tienen como causa principal la estructura de su molécula.

En la molécula de agua los átomos de oxígeno e hidrógeno están unidos entre sí por enlaces covalentes polares. El análisis de la distribución de cargas en la molécula de agua revela que estas no se distribuyen uniformemente: hay dos "centros de gravedad" de la carga positiva (en los átomos de hidrógeno) y dos centros de carga negativa (en el átomo de oxígeno) como consecuencia de la elevada electronegatividad del átomo de oxígeno.



Polaridad de la molécula de agua



Geometría de la molécula de agua

Esta irregular distribución de las cargas hace que la molécula de agua adquiera una configuración de tetraedro.

Esta configuración de la molécula de agua también se explica asumiendo el modelo de la hibridación.

La fórmula química del agua (H_2O) así como la estructura electrónica de los átomos que la conforman sugiere que el ángulo de enlace en la molécula debía ser de 90° , ya que en los dos enlaces O-H participan los orbitales s de cada átomo de hidrógeno y los dos orbitales p del átomo de oxígeno que tienen un electrón sin aparear y que son perpendiculares entre sí. Sin embargo, los análisis por difracción de rayos X revelan que el ángulo de enlace tiene un valor de $104,5^\circ$.

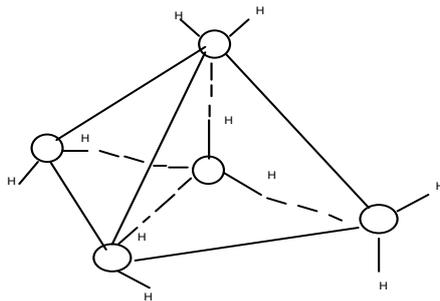
Dicha desviación encuentra explicación en el modelo de hibridación del átomo de oxígeno. Este trabajo no pretende hacer un desarrollo de la hibridación para la molécula de agua, sino destacar su validez para comprender en toda su extensión la estructura del agua y de muchas otras moléculas.

El enlace covalente polar y la no linealidad de la molécula de agua es la causa de su elevado momento bipolar ($\mu = 1,83$ D), de manera que se puede hablar de la molécula de agua como un dipolo. En fin, es una típica sustancia polar. Este rasgo estructural es esencial para entender las propiedades físicas del agua.

La formación de los enlaces por puente de hidrógeno es una manifestación de las interacciones dipolo-dipolo.

El elevado momento dipolo justifica la existencia en la molécula de los enlaces de hidrógeno y su elevada capacidad como disolvente. Esto origina además la reunión de las moléculas en agregados $(H_2O)_n$ donde $n = 2, 3, 4, 5$. Los agregados de tal naturaleza forman, a su vez, estructuras cristaloides más complejas.

En el agua líquida predominan agregados de moléculas que tienen forma tetraédrica.



Formación de la estructura cristaloides del agua.

La asociación de las moléculas de agua no provoca ningún cambio en sus propiedades químicas, ya que el enlace de hidrógeno no es muy estable, sin embargo, las propiedades físicas cambian considerablemente. En particular, aumenta la capacidad disolvente.

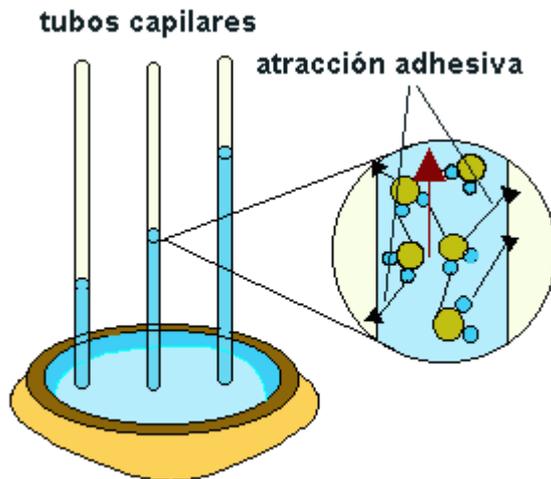
En el agua, ininterrumpidamente, y con gran velocidad, ocurre la formación de enlaces de hidrógeno y su ruptura. Como resultado, los agregados de moléculas se descomponen y se forman rápidamente.

Entre las moléculas de agua existe una elevada fuerza de cohesión. Los puentes de hidrógeno mantienen las moléculas de agua fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible. Al no poder comprimirse puede funcionar en algunos animales como un esqueleto hidrostático, como ocurre en algunos gusanos perforadores capaces de agujerear la roca mediante la presión generada por sus líquidos internos.

La fuerza de adhesión está también en relación con los puentes de hidrógeno que se establecen entre las moléculas de agua y otras moléculas polares y es responsable, junto con la cohesión del llamado fenómeno de la capilaridad. Cuando se introduce un capilar en un recipiente con agua, ésta asciende por el capilar como si trepase agarrándose por las paredes, hasta alcanzar un nivel superior al del

recipiente donde la presión que ejerce la columna de agua, se equilibra con la *presión capilar*. A este fenómeno se debe en parte la ascensión de la savia bruta desde las raíces hasta las hojas, a través de los vasos leñosos.

El agua está presente también en la porción superior del suelo, en donde se adhiere, por acción capilar, a las partículas del mismo. En este estado, se le denomina agua ligada y tiene unas características diferentes del agua libre.



La estructura cristaloides del agua determina algunas propiedades muy importantes para los organismos vivos, tal es el caso de los elevados valores de entalpía molar de fusión y de vaporización los cuales son $6,008 \text{ kJ.mol}^{-1}$ y $40,655 \text{ kJ.mol}^{-1}$ respectivamente.

El organismo humano evita el sobrecalentamiento evaporando el agua desde la superficie de la piel y exhalando vapor de agua por los pulmones, procesos que encuentran su causa en el valor anormalmente elevado de calor de vaporización. Por otra parte el vapor de agua se emplea en calefacción basado en dicha propiedad y la peligrosidad de las quemaduras con agua hirviendo se explica también por el alto valor de entalpía de vaporización.

El elevado valor de entalpía de vaporización significa que hace falta mucha energía para evaporar el agua líquida. A medida que el vapor de agua se mueve de las zonas más cálidas a otras más templadas el vapor se condensa de nuevo formando lluvia.

Este proceso libera energía y calienta el aire ligeramente. A nivel global hay una gran cantidad de energía involucrada en estos procesos dando lugar a importantes tormentas y vientos.

El elevado valor de entalpía de fusión del agua encuentra además su aplicación en la refrigeración con hielo.

La alta capacidad calórica del agua ($75,291 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$) protege a las células del cuerpo contra deterioros por el desprendimiento local del calor en un breve tiempo. Debido a esta propiedad puede actuar el agua como regulador térmico, lo cual explica el hecho de que en regiones próximas a grandes masas de agua no ocurran variaciones bruscas de temperatura.

Otra propiedad interesante del agua es su calor específico ($4,184 \text{ J/g.}^{\circ}\text{C}$ a $14,5^{\circ}\text{C}$) cuyo valor anormalmente elevado (en comparación con otras sustancias líquidas comunes) se tomó como patrón para definir la caloría y el calor específico de las demás sustancias. La propiedad anteriormente aludida sustenta su utilización como refrigerante en el sistema de enfriamiento de los motores y como transporte de calor en la calefacción doméstica.

El agua tiene un calor específico muy alto, lo que significa que se necesita mucha energía para aumentar su temperatura (se necesita energía para romper los puentes de hidrógeno). Como la

superficie de la Tierra está cubierta en un 71% por agua la energía que viene del Sol sólo produce cambios muy pequeños en la temperatura del planeta. El agua evita que la temperatura sea demasiado alta o demasiado baja y permite que pueda haber vida sobre la Tierra. El calor se almacena en el agua durante el verano y se libera durante el invierno. Los océanos actúan como moderadores del clima reduciendo las diferencias de temperatura durante las estaciones.

La variación de la densidad del agua con la temperatura es, desde nuestro punto de vista, una de las conductas más sorprendentes de esta sustancia. Para las sustancias líquidas generalmente la densidad aumenta a medida que disminuye la temperatura, sin embargo, en el agua es diferente, observándose un aumento paulatino de la densidad a medida que la temperatura desciende desde 100°C (densidad 0,958 6 g/cm³) hasta 3,98°C (densidad 1,000 g/cm³). La densidad del agua a 0°C reportada es de 0,999 7 g/cm³ y para el hielo a igual temperatura es de 0,917 0 g/cm³.

Analizando la información anterior se deduce que cuando el agua se solidifica disminuye su densidad, por tanto aumenta el volumen, explicándose así por qué el hielo flota en el agua y por qué aproximadamente solo vemos la dozada parte del volumen total de un témpano de hielo que sobresale del nivel de un océano cuando flota a la deriva.

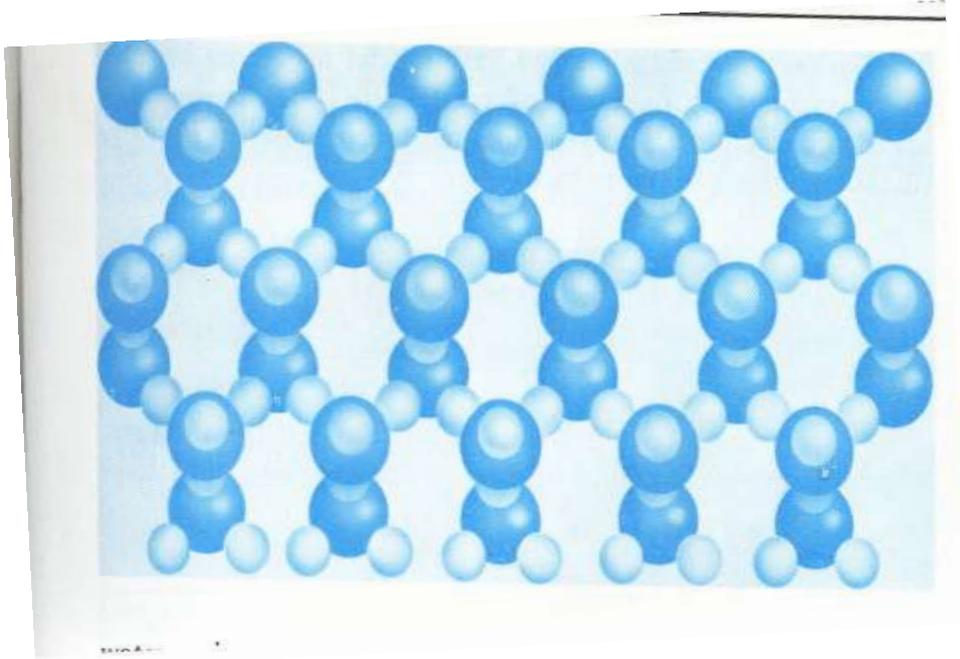
En nuestros hogares observamos cierta deformación de los moldes metálicos de hacer hielo debido a esta anomalía de la densidad, también es la causa de que en los países fríos la congelación del agua haga reventar las tuberías de conducción de este líquido así como la desintegración de las rocas y la pulverización de los suelos.

El comportamiento anormal de la densidad del agua es garantía para la continuidad de la vida acuática en lagos de las regiones frías. En la literatura especializada al respecto se explica que durante 3 o 4 meses ocurre como especie de un proceso convectivo mediante el cual el agua fría de la superficie del lago desciende a las profundidades provocando que agua caliente ascienda a la superficie. El agua que está en contacto con la superficie disuelve algo de aire y al enfriarse desciende más rica en oxígeno permitiendo la vida acuática en ese lugar.

Desde el punto de vista estructural la desviación de la densidad del agua respecto al comportamiento normal encuentra su explicación en la existencia de las asociaciones por puente de hidrógeno.

En el hielo existe un mayor ordenamiento de las moléculas como resultado de los puentes de hidrógeno que contribuyen a formar el cristal, en el que hay un mayor espacio entre las moléculas que el que existe en el líquido, lográndose una estructura cristalina abierta ya que existen menos partículas por unidad de volumen. Al fundirse el hielo las moléculas dejan de ocupar posiciones fijas, colapsa la estructura cristalina acercándose lo más posible entre sí y en consecuencia la densidad del agua líquida es mayor que la del hielo.

La siguiente figura ayuda a la comprensión de lo anteriormente explicado:



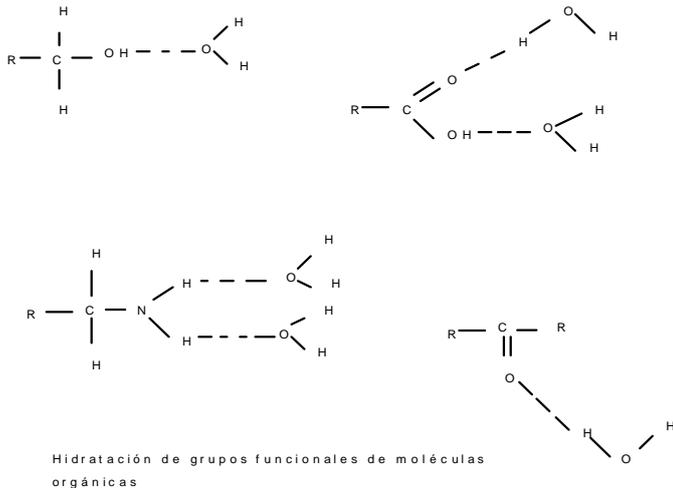
Estructura abierta del hielo

La imagen anterior representa cómo se disponen las moléculas de agua al formarse el hielo. Una molécula de agua se une mediante puentes de hidrógeno a otras cuatro moléculas. Los dos átomos de hidrógeno que forman parte de la molécula central son atraídos por los átomos de oxígeno de otras dos moléculas. Al mismo tiempo los átomos de hidrógeno de otras dos moléculas resultan atraídos hacia el oxígeno de la molécula central. Esta estructura cristalina abierta ocupa un gran espacio, resultando de baja densidad.

Cuando el hielo funde se rompen muchos enlaces de hidrógeno al tiempo que se destruye su estructura cristalina ordenada y las moléculas de agua se acercan mucho entre sí de modo que resultan mínimos los espacios entre ellas lo que hace al líquido más denso que el sólido correspondiente. A medida que la temperatura del agua aumenta por encima de 0°C continúan rompiéndose uniones de hidrógeno con el consiguiente efecto explicado anteriormente. A $3,98^{\circ}\text{C}$ prácticamente todos los enlaces de hidrógeno se han roto alcanzándose la máxima densidad.

PODER DISOLVENTE DEL AGUA

Los dipolos del agua son capaces de actuar recíprocamente no solo entre sí, sino también con moléculas polares de otras sustancias. Este proceso ha recibido el nombre de hidratación de sustancias. Es muy conocido cómo ocurre este proceso en el caso de la interacción de las sustancias iónicas con el agua. A continuación se representa para la interacción de algunas moléculas orgánicas con el agua:



En el proceso de hidratación se debilitan de manera sensible (más de 80 veces) la interacción entre las cargas eléctricas. Por ejemplo, el cloruro de sodio, NaCl, en el aire funde aproximadamente a 1400° C, sin embargo, en agua el proceso de disociación de esta sal ocurre a temperatura ambiente. En fin, la hidratación favorece la desintegración de sustancias hasta que se obtengan iones, moléculas o agregados de moléculas. En este caso se forman diferentes tipos de sistemas dispersos.

En el agua los compuestos iónicos y fuertemente polares se hallan en forma disociada. El medio que mantiene el nivel debido de disociación de las moléculas es indispensable para la actividad vital normal, ya que la velocidad de las reacciones entre iones es muy grande.

Al hidratarse los iones y grupos funcionales polares, cambian mucho las propiedades de la partícula hidratada y del agua. Así, con la hidratación las estructuras cristaloides del agua libre se desintegran y se forman otras nuevas. Las moléculas de agua se sitúan ordenadamente alrededor de la partícula a hidratar. Si esta ordenación recién aparecida es mayor que la del agua libre, sus moléculas pierden la propia movilidad y ésta adquiere algunas propiedades del hielo. En este caso la hidratación se denomina positiva. Es característica, por ejemplo, para los iones sodio, litio, calcio y bario. En muchos casos las moléculas de agua situadas cerca de las partículas en hidratación poseen una mayor movilidad que en agua pura. Tal hidratación se denomina negativa. Es propia de los iones potasio, cloro y yodo.

Fenómenos análogos tienen lugar en los centros catiónicos y aniónicos de las moléculas orgánicas. Juegan un gran papel en la distribución de agua entre diferentes tejidos del organismo. La hidratación positiva origina un aumento considerable de la capacidad calórica del agua.

El agua es capaz de dispersar no solo los compuestos iónicos y polares, sino también muchas sustancias que contienen radicales hidrófobos apolares tales como lípidos y proteínas. En la proximidad de los radicales hidrófobos se intensifica la formación de los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua y aumenta la semejanza de la estructura cristaloides del agua (forma cristalina hexagonal) con el retículo cristalino del hielo. Si cerca se ubica un gran número de radicales hidrófobos apolares, entre ellos surge un fenómeno llamado interacción hidrófoba a expensas de las fuerzas de cohesión intermoleculares y de la expulsión de estos radicales de las zonas donde el agua adquirió la estructura de cristalización.

Las sustancias que a la par con un radical hidrófobo tienen un grupo funcional polar (jabones, proteínas), son capaces de formar micelas, en las cuales los radicales reaccionan entre sí, y los grupos funcionales con las moléculas de agua. Estructuras semejantes toman parte en la formación de las membranas celulares. En estas estructuras, en comparación con el agua libre, aumenta la movilidad de los iones hidrógeno e hidroxilo que se forman en el proceso de disociación del agua, lo que es una de las causas de la alta conductividad eléctrica de las membranas celulares.

El agua es la base de los sistemas líquidos del organismo humano: sangre, linfa, saliva, jugos gástrico e intestinal, líquido sinovial y cerebrospinal, contenido interno de las células y líquido intracelular. En la

mayoría de estos sistemas el agua constituye el medio dispersante. En las membranas celulares, constituidas principalmente por proteínas y lípidos, el agua puede desempeñar el papel de fase dispersa.

En dependencia del tamaño de las partículas de la fase dispersa se distinguen distintos tipos de sistemas dispersos (disoluciones verdaderas, coloides y suspensiones), de los cuales solo mencionaremos algunos ejemplos.

Las disoluciones de monosacáridos, alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres, etcétera, clasifican como disoluciones verdaderas moleculares, mientras que las disoluciones de ácidos, bases y sales también son verdaderas, pero tipo iónicas. Las disoluciones de proteínas y de monosacáridos son coloides liófilos. Como suspensiones clasifica la de eritrocitos en el plasma de la sangre, mientras la leche y la suspensión de gotas de grasa en el jugo intestinal es un tipo de suspensión llamado emulsión cuya característica fundamental es que las partículas de la fase dispersa son líquidas. Los líquidos biológicos son una combinación compleja de diferentes sistemas dispersos. Por ejemplo, la sangre es un coloide de proteínas que tienen células sanguíneas y gotas de grasa suspendidas, contiene además una disolución verdadera de sales minerales, de glucosa, de aminoácidos, ácido láctico y otras sustancias.

El agua es la que transporta, en forma de disoluciones verdaderas o de dispersiones coloidales, las sustancias que reparan los tejidos. Constituye el vehículo de salida para los productos de excreción.

El agua interviene químicamente en todas las reacciones de hidrólisis que son determinantes en los procesos nutritivos. Bajo su acción todas las sales tienden a disociarse formándose iones y otras especies que son los actores principales en las reacciones químicas que ocurren en animales y plantas.

El agua tiene además función lubricante ya que reduce la fricción entre las partes que rozan. Los ojos necesitan del agua para permanecer constantemente húmedos. Las glándulas lacrimales producen constantemente el líquido necesario para esta finalidad. Una alteración de esta función, junto con otras enfermedades del ojo, es responsable de la aparición del síndrome del ojo seco o Síndrome de Sjögren. De igual manera, el agua constituye un lubricante ideal para el movimiento de las articulaciones. La lengua está constantemente húmeda, las mucosas necesitan de agua, etc.

Las células precisan del agua para tener una estructura determinada. De esta manera podemos decir que este elemento configura la forma de los órganos. Necesitamos una hidratación adecuada para mantener el organismo perfectamente equilibrado. Sin embargo, a medida que nos vamos haciendo mayores, se produce una pérdida de agua consecuencia de una menor capacidad del organismo para retener este líquido y una menor sensación de sed. La piel es uno de los órganos que demuestra mejor esta falta de hidratación. Esto es lo que conlleva a la aparición de arrugas o flaccidez o al envejecimiento de la piel. Es necesario ser conscientes de este hecho para comprender la obligación de beber agua en abundancia y mantener nuestro organismo en buen estado y nuestra piel joven.

Durante la condensación y precipitación, la lluvia o la nieve absorben de la atmósfera cantidades variables de dióxido de carbono y otros gases, así como pequeñas cantidades de material orgánico e inorgánico. Además, la precipitación deposita lluvia radiactiva en la superficie de la Tierra.

En su circulación por encima y a través de la corteza terrestre, el agua disuelve los minerales del suelo y de las rocas. Los principales componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son los sulfatos, los cloruros, los bicarbonatos de sodio y potasio, y los óxidos de calcio y magnesio. Las aguas de la superficie suelen contener también residuos domésticos e industriales. Las aguas subterráneas poco profundas pueden contener grandes cantidades de compuestos de nitrógeno y de cloruros, derivados de los desechos humanos y animales. Generalmente, las aguas de los pozos profundos sólo contienen minerales en disolución. Casi todos los suministros de agua potable natural contienen fluoruros en cantidades variables. Se ha demostrado que una proporción adecuada de fluoruros en el agua potable reduce las caries en los dientes.

BREVES SUGERENCIAS METODOLÓGICAS PARA LA EXPLICACIÓN DE ESTE CONTENIDO.

En el estudio de la relación estructura – propiedades – funciones del agua como aspecto fundamental para el establecimiento de relaciones interdisciplinarias de los contenidos de las disciplinas químicas, biológicas y geográficas en la formación de profesores de ciencias naturales, es necesario, connotar el carácter básico de los contenidos químicos vistos desde el estudio de la estructura del agua, en esta debe quedar bien clara la **naturaleza bipolar de su molécula** como premisa cognitiva esencial para comprender la **formación de los enlaces por puentes de hidrógeno**.

Una vez tratada la formación de los enlaces de hidrógeno como consecuencia de la polaridad de la molécula y de la alta electronegatividad del átomo de oxígeno el estudiante estará en condiciones de entender la relación existente entre las propiedades fundamentales del agua, sus usos y funciones en la vida cotidiana, los organismos vivos y en la naturaleza en general, con su estructura.

El siguiente esquema ayudará a comprender lo anteriormente explicado:



1Aspectos estructurales básicos del agua que se deben resaltar.

CONCLUSIONES

El conocimiento detallado de la relación existente entre la estructura, las propiedades y las funciones del agua como relación causal tiene carácter de esencia al revelar una idea metodológica básica en el estudio de cualquier contenido de las asignaturas de Ciencias Naturales.

Es posible lograr un estudio totalizador del agua desde las Ciencias Naturales si este se concibe a partir de la concepción interdisciplinaria característica de esta área del conocimiento.

Se identifican como núcleos conceptuales que guían su abordaje didáctico metodológico **la polaridad de la molécula de agua y la existencia de las asociaciones por puente de hidrógeno**.

BIBLIOGRAFIA

- Lambling, E. Tratado de Química Biológica, Editorial Pubul, Barcelona, 1923, 672p.
- Lange's Handbook of Chemistry. Thirteenth Edition
McGraw- Hill Book Company, 1972.
- León Ramírez, Rebeca. Química General. Editorial Pueblo y Educación, 1985.
- Menshukov, V. V. y Volkov, N. I. Bioquímica Editorial Vneshtorgizdat, Moscú, 1990.

- Morejón Bencomo, Mauro I. y col. Química Curso Premédico Editorial Pueblo y Educación, 2006.
- Ramsden E. N. Chemistry A- Level Fourth Edition Nelson Thornes (Publishers) LTD, 2000.
- Smoot Robert C., Price Jack and Smith, Richard G. Chemistry A Modern Course. Charles E. Merrill Publishing Co., 1979.