

HIDROSFERA

CAPITULO IV

Las aguas que se tratan en este capítulo, son aquellas cuyo contenido en sales o salinidad oscila entre 20 y 50 gramos por Kg., aunque no debemos ser demasiado estrictos con estos límites y más bien atender a la naturaleza y origen de las aguas. En este grupo cae en primer lugar el estudio del agua de mar, que es el que constituye la mayor parte de la masa de la hidrósfera y que es al lugar a donde vienen a concurrir todas las aguas que de una manera u otra afloran a la superficie de la tierra. En segundo lugar se estudiarán las aguas que se han quedado aprisionadas en los sedimentos, que se llaman aguas conatas; si no fuera porque han tenido mucho metamorfismo y metasomatismo, nos darían la composición del agua de mar en épocas pasadas. Por último, en este capítulo caen otras aguas que tengan esta salinidad y que de una manera u otra se relacionen con el agua de mar.

AGUA DE MAR

Como se dijo anteriormente en los océanos está contenida la mayor parte del agua de la hidrósfera. Según Karstens el volumen del océano es de 1,286 millones de Km³; considerando una densidad media de 1.026 el peso del agua de mar será de 1.319×10^{18} toneladas. Ya se ha dicho que el peso de la atmósfera puede calcularse en 5.28×10^{15} toneladas por lo cual la relación entre el peso total de la hidrósfera y atmósfera es aproximadamente de 1:250; esta relación puede ser, y de hecho es algo pequeña porque en el peso de la hi-

drósfera no hemos tomado en cuenta las aguas continentales, pero su masa es pequeña con relación a la de los océanos y por lo tanto esta relación la tomaremos como buena.

En el agua de mar la sustancia más abundante es el agua. Antes de que se conocieran los isótopos de los elementos se creía que solo había una sustancia que tenía la composición H^{20} en la que sólo entraba una sola clase de hidrógeno y una clase de oxígeno, pero ahora ya sabemos que del hidrógeno hay dos isótopos estables de masa atómica 1 y 2 y que se designan con el nombre de hidrógeno 1 (H^1) hidrógeno 2 (H^2) o deuterio; hay otro isótopo que es el tritio o hidrógeno 3 (H^3), pero que no es estable. Para el oxígeno se conocen tres isótopos estables de masa 16, 17 y 18; y por lo menos dos inestables que son el 15 y el 19. En el cuadro siguiente se dan las proporciones relativas en que se encuentran estos elementos en la naturaleza y sus pesos atómicos como han sido determinadas con el espectrómetro de masa.

Símbolo	Abundancia %	Peso atómico
H^1	99.98	1.008130
H^2 O D	.02	2.014722
O^{16}	99.76	16.00000
O^{17}	.04	17.00449
O^{18}	.20	18.00369

Tomada de Linus Pauling, General Chimestry.

En vista de esto se comprende que habrá varias clases de agua, las que se distinguen unas de otras por sus propiedades físicas, que en lo que se refiere a sus propiedades químicas son idénticas. Combinando dos de los isótopos del hidrógeno con cada una de los del oxígeno se tendrán no menos de nueve clases de aguas diferentes y que en el cuadro siguiente se dan con sus pesos moleculares calculados de los datos de los pesos atómicos de sus componentes:

Agua	Peso molecular
$H_2^1O^{16}$	18.01626
$H_2^1O^{17}$	19.02075
$H^1H^2O^{16}$	19.02285
$H_2^1O^{18}$	20.01995
$H^1H^2O^{17}$	20.02734
$H_2^2O^{16}$	20.02944
$H^1H^2O^{18}$	21.02654
$H_2^2O^{17}$	21.03393
$H_2^2O^{18}$	22.03313

De estas agua sólo son conocidas dos de sus variedades que son la $H_2^{16}O$ y la $H_2^{18}O$; pero de estas la única de las cuales su propiedades físicas son bien conocidas y la única que se ha podido obtener en cantidad relativamente grande, es la primera que es el óxido de deuterio o agua pesada.

Basándome en la abundancia relativa de los isótopos, me he puesto a calcular a cantidad que debe haber en la naturaleza de cada una de las variedades de agua y encontré los resultados siguientes, expresados en partes por millón:

$H_2^1O^{16}$	997 237
$H_2^1O^{18}$	2 116
$H_2^1O^{17}$	422
$H_2^2O^{16}$	225
	1 000 000

En este cuadro sólo se ha calculado uno de los compuestos del deuterio, que es el agua pesada ordinaria, pues los otros sólo entran en proporciones inferiores a una parte por millón.

El agua pesada $H_2^{16}O$ es la única a la que se le conocen bien sus propiedades y de la que se ha podido tener una cantidad bastante grande para hacer numerosos experimentos, se puede decir que esta variedad de agua nos es perfectamente conocida, aunque su cantidad en las aguas ordinarias es muy pequeña: 1:4444 aproximadamente. La variedad $H_2^{18}O$ no obstante que es la más abundante: 1:473, solo

se ha podido obtener en cantidades tan pequeñas que no ha sido posible estudiarla.

En el cuadro siguiente se comparan las propiedades físicas del agua pesada con el agua dulce:

	H ₂ O ¹⁶	D ₂ O ¹⁶
Densidad a 20°	.9980	1.1051
Punto de fusión °C	0.0014	3.80
Temperatura de densidad máxima	3.98	11.6
Punto de ebullición	99.999	101.42
Temperatura crítica	374.2	371.5
Calor molar de fusión	1435	1523
Calor molar de vaporización	9719	9919
Calor específico a 15°	.99999	1.03
Viscosidad a 20°, milipoises	10.09	12.6
Índice de refracción a 20°	1.33300	1.32844
Disociación iónica a 22°	1.10x10	.16x10

Las diferencias más notables que se encuentran entre ambas variedades de agua, son principalmente su densidad y que es la que sirve para ser caracterizada, pues por medio de la técnica de los flotadores se pueden determinar diferencias en densidad tan pequeñas como de 1×10^{-5} ; conociendo la densidad de una agua cualquiera, se puede determinar la proporción de agua pesada que contiene. Su punto de ebullición también es algo diferente, por lo cual se pueden separar por destilación fraccionada, el vapor es siempre más pobre en agua pesada que el líquido en equilibrio. La viscosidad también es mayor la del agua pesada por lo cual hay difusión al estado líquido. La difusión al estado gaseoso también se podría utilizar para separar las diferentes clases de agua, puesto que la difusión de los gases es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de sus pesos moleculares. Tomando la relación entre las raíces cuadradas de los pesos moleculares de la variedad más pesada a la más ligera que son: H₂O¹⁶ p.m. 18.01626, y H₂O¹⁸ p.m. 22.03313, resulta que el factor de enriquecimiento es $4.69395/4.24456 = 1.1059$, por lo cual este factor será de 1.1; si esta operación se hiciera 10, el enriquecimiento sería de 1.110 que es 2.59 que como se ve es muy poco eficiente.

Tomada del libro del Dr. Ernest H. Riesenfeld, Tratado de Química Inorgánica.

Shinya Oana (dice Oana ⁽¹⁾) ha medido la densidad del agua de diversas procedencias y ha encontrado lo siguiente: Las aguas de la fusión de la nieve que se encuentra en las montañas Fuji y Norikura tienen menor densidad que al agua de Tokyo; y en los ríos la densidad del agua va aumentando hasta hasta unos 50 km. de su curso en donde toma la densidad del agua de la ciudad y luego se mantiene constante. El agua que sale de las fumarolas o condensada de las mismas como la de Yakedake, es más pesada. También ha estudiado la densidad de las aguas conatas de los pozos petroleros de Formosa y ha encontrado que también son más pesadas y que el contenido en agua pesada guarda una cierta relación con el cloro.

De lo anterior se deduce que el agua de lluvia, representada por la de las nieves contiene menos agua pesada que las aguas terrestres, debido a que el agua ligera se evapora con más facilidad que la pesada; por lo tanto hay que esperar que el agua del mar contenga más agua pesada que la continental. El enriquecimiento del agua de los ríos en agua pesada se explica por la concentración por evaporación. Lo mismo acontece con el agua de las plantas que es algo más concentrada que el agua ordinaria. Las aguas juveniles son más ricas que la ordinaria, por lo menos en este caso. Con respecto a las aguas conatas, su enriquecimiento en agua pesada y en cloro se debe a difusión y de aquí que haya una cierta relación entre estas dos sustancias. Por último el agua de mar debe contener más agua pesada que las aguas continentales.

Después de haber considerado el elemento más abundante en el agua de mar, viene una gran cantidad de sustancias que se encuentran en las aguas, unas están disueltas, otras en suspensión coloidal, otras en suspensión simple y otras, que son los seres vivos en movimiento propio como los animales y otras como la plantas que son arrastradas a la deriva por las corrientes y que en esto se parecen a las partículas minerales en suspensión, pero que por su vida sufren transformaciones rápidas en sus propiedades físicas externas.

La mayor cantidad de las sustancias que se encuentran en el agua de mar están disueltas y probablemente en esta forma se encuentran todos los elementos que son estables; pero la mayor parte de las sustancias disueltas por lo menos en su relación ponderal con

(1) Bulletin of the Chemical Society of Japan, 17 (1942).

respecto la total de ellas son sólo cuatro cantiones, que son en orden de abundancia: Na, Mg, Ca y K; y cuatro aniones que son Cl, SO₄, Br y CO₃, que forman más del 99% de las sustancias disueltas en el agua de mar.

A la relación entre el peso del conjunto de las sustancias disueltas en el agua al peso de la muestra se le llama salinidad. La determinación de esta cantidad presenta muchas dificultades. Se pensaría que desde luego bastaría con tomar una cantidad conocida de la muestra de agua, evaporar el agua a sequedad, y el residuo pesado y dividido entre el peso del agua original nos daría la salinidad. Pero hay muchas sustancias que se descomponen al ser evaporadas, otras que como las materias orgánicas, se queman y se transforman al ser calentadas, otros iones que se disocian y dan ácidos volátiles, como ya se dijo el tratar de las aguas en general. En vista de esto se ha resuelto definir la salinidad de una agua de mar como la suma de los elementos determinados, considerando que los carbonatos se transforman en óxidos y que toda la materia orgánica se ha oxidado.

Se han hecho numerosas determinaciones de este tipo y se ha llegado a la conclusión que la composición de las sales marinas, por lo menos a lo que refiere a los ocho iones de que se ha hablado es prácticamente constante y que por lo tanto todos los iones y la salinidad tienen una relación fija, por lo cual se puede determinar uno de los elementos contenidos en el agua y de este deducir otros. El elemento que se puede determinar con mayor facilidad y precisión por titulación con solución de nitrato de plata, es el cloro, resulta que si se determina este elemento, de él se puede deducir el valor de cualquiera otro. Pero el método de nitrato de plata determina no sólo el Cl, sino que también precipita el Br. y el I; pero se puede aceptar que el valor que se obtiene por titulación se le llama la cloruración del agua. Este valor definido de la manera anterior, es la suma de los tres halógenos calculados como cloro. A este número es posible que se le llame "clorinidad" como en inglés "chlorinity" pero creo que el término cloruración o valor de cloruración es más correcto. Este dato es el que se encuentra en las Tablas Hidrográficas.

La fórmula para determinar la salinidad es:

$$s = 0.03 + 1.805Cl$$

en la que s es la salinidad buscada y Cl el coeficiente de cloruración, tal como se ha definido arriba. Si en vez de hacer la determinación de la cloruración en una cantidad pesada de muestra, se hace en una cantidad medida a $20^{\circ}C$ se obtendrá la cloruración por volumen, Cl_v y de ésta podremos determinar la cloruración por peso,

Cl_p , por medio de la fórmula:

$$Cl_p = .008 + 0.99980Cl_v - .001228Cl_v^2$$

La salinidad de las aguas del mar varía entre amplios límites, dependiendo de que las aguas esten diluídas por aguas de lluvia o por las aguas de los ríos o de deshielo o que se concentren por evaporación. Para hacer ver estas variaciones tomaré los datos de Clarke:

SALINIDAD

LOCALIDAD

7.215	Mar Báltico, entre Oeland y Gothland.
18.23 -22.23	Mar Negro. Seis análisis.
13.78 -34.57	Mar de Siberia. Aguas recogidas por la expedición del Vega. 4 muestras.
25.98 -29.68	Mar Blanco. Tres muestras.
27.965	Estrecho de Malacca.
31.744	Mare Morto, que es una laguna en la isla de Lacro-mo en el mar Adriático y que tiene comunica-ción subterránea con el mar.
23.10 -40.61	Mar de Mármara. 44 muestras.
32.08	Mar de China.
31.79 -36.07	Costa de North Carolina, cerca de Beaufort. 5 muestras.
33.65	Océano Atlántico en Bahía Blanca sobre la costa

		de Argentina; promedio de dos muestras tomadas durante la pleamar y la baja mar.
33.7	-35.6	Del Atlántico del Norte. 51 muestras tomadas entre Noruega, las islas Faroe Islandia y Spitsbergen.
33.01	-37.37	De 77 muestras recogidas en todos los océanos por la expedición del Challenger.
35.49		Golfo de México, muestra tomada mar adentro de la costa del cayo Loggerhead, Florida.
35.534	-36.681	Océano Índico. 2 muestras.
36.31		Océano Atlántico. Promedio de 22 muestras tomadas del Cabo de Buena Esperanza hasta Inglaterra.
37.77		Mar Mediterráneo, a medio mar entre Bizerta y Marsella. Salinidad 38.789 g/l.
37.95		Mar Mediterráneo, cerca de Cartago. Salinidad 38.9744 g/l.
39.75		Mar Mediterráneo Oriental. Muestras recogidas por el Vapor Austriaco Pola. El promedio de 42 análisis y la salinidad varió entre 38.36 y 41.15.
39.76		Mar Rojo, en el centro.
51.03		Canal de Suez en Ismalia.
50.85	-58.54	Mar Rojo, cuatro muestras tomadas en el Canal de Suez, Lago Timsah y en dos lagunas amargas.

Si se estudia el cuadro anterior se notará que la salinidad es 7.21 a 58.54 gramos por kilogramo de solución lo que representa una variación bastante apreciable. El promedio de todas las determinaciones y teniendo en cuenta principalmente la de los grandes océanos es de 35 por mil, que es la que debe tomarse como la salinidad normal del agua de mar, la que corresponda a un coeficiente de cloruración de 19.374 por mil.

Se ve que la salinidad es mas baja en el Mar Báltico lo que es debido a que a este mar desembocan grandes ríos y que está muy al norte en donde la evaporación es baja, y además le viene el agua de los deshielos de los mares polares; en lo general las aguas menos saladas se encuentran en los mares del norte. En los mares del sur no tenemos muchos datos, pero es de suponer, que pase cosa semejante aunque no el mismo grado, pues el océano en el sur es continuo y no forma mares más o menos independientes como pasa

en el Polo Norte, y por lo tanto su baja salinidad no será tan notable. En los ejemplos citados tenemos una muestra de agua tomada en el Estrecho de Malacca que es relativamente poco salada.

Después tenemos las aguas de los grandes océanos en las que la salinidad es poco diferente de 35, aunque por regla general se puede decir que la concentración del agua superficial es algo baja en el ecuador, debido a la gran cantidad de lluvia que cae en este lugar para después subir y alcanzar un máximo en las zonas de los trópicos, que como sabemos son zonas de altas presiones atmosféricas y de baja precipitación; y en seguida disminuye otra vez la salinidad debido al aumento en la cantidad de lluvia, disminución en la evaporación y mezcla con las aguas de los deshielos.

Las aguas más saladas las encontramos en el Mar Mediterráneo, que está en su mayor parte en la zona de los desiertos y tiene muy poca comunicación con el océano en donde encontramos concentraciones hasta 41. Pero el mar más salado es el Mar Rojo, que está en la zona de los desiertos y tiene muy poca comunicación con los océanos, por el sur se comunica con el Océano Indico y por el norte, artificialmente por medio del Canal de Suez con el Mediterráneo, y no recibe ningún río de importancia, por esto aquí vemos que el agua alcanza una concentración cercana a 60. El Mediterráneo tiene el Nilo y por la parte que llega a Rusia recibe aguas de deshielo y hay poca evaporación, mientras que el Rojo está sujeto a fuerte evaporación.

DENSIDAD

El agua de mar, es pues, una solución más o menos diluida de sustancias que están completamente ionizadas en la que la densidad depende de la temperatura, de la presión y de las sustancias disueltas, que en este caso se puede representar por la salinidad o por la cloruración.

Hay varias maneras de representar la densidad de una sustancia, una de ellas, que es la más conveniente, aunque no siempre se tienen a mano los equipos necesarios para hacerla, es tomar el peso de un volumen de agua de mar a la temperatura de 0°C y referirlo al mismo peso de agua destilada a la temperatura de su máximo de densidad que es de 3.98°C. En el sistema de unidades c.g.s. el nú-

mero que representa la densidad es igual al del peso específico; o sea que el número que representa la densidad tomada en esta forma es el número de gramos de sustancia contenidos en la unidad de volumen que es el mililitro. La otra es la relación entre los pesos de volúmenes iguales de la sustancia a la temperatura de 17.5°C y el del agua destilada ordinaria a la misma temperatura de 17.5°C. Esta cantidad es un número, es decir: que no tiene dimensiones. En tratándose de soluciones diluidas acuosas, practicamente este número se puede obtener comparando volúmenes iguales de sustancias a la misma temperatura.

La densidad de las aguas saladas es siempre mayor que la unidad. La densidad por medio de un picnómetro apropiado puede determinarse fácilmente con cinco cifras decimales. Si a la densidad de una agua se le quita la unidad y el resto se multiplica por 1000, da un número que para soluciones de composición constante tiene una relación fija. Este número fué propuesto por Knudsen y lo representa por la letra griega σ sigma, la formula para obtener este número es:

$$\sigma = (D - 1) 1000 \quad$$

Si tenemos muestras de aguas que han dado una densidad a 0°C de 1.02568, 1.02681 y 1.02827 serán: 25.68, 26.81 y 28.27 respectivamente.

Forch, Sörenson y Knudsen (1) han calculado la relación que existe entre la salinidad y la densidad; pero como ya se ha dicho que la salinidad se puede calcular conociendo la cloruración la fórmula es:

$$\sigma = 0.069 + 1.4708Cl - 0.00157Cl^2 + 0.0000398Cl^3$$

Calculando por la fórmula anterior se encuentra que la densidad normal del agua de mar a 0°C es de 27.86.

El otro factor que tiene influencia sobre la densidad es la temperatura, en el agua de mar lo mismo que en el agua pura, la densidad aumenta con un descenso en la temperatura, hasta llegar a un máximo. Este máximo varía con la salinidad y, por lo menos dentro

(1) Publ. de Curcon, No. 43 (1908).

la variación en salinidad de las aguas de los mares, el punto de máximo densidad baja a partir de 3.98° , 0.389° por cada unidad en cloruración, así el agua normal su punto de máximo de densidad es a -3.55°C ; pero a esta temperatura el agua normal de mar ya está abajo de su punto de congelación.

El punto de congelación del agua también es función de la salinidad, y como en el caso anterior el descenso es proporcional a la salinidad. Este descenso puede estimarse en 0.0975 por grado de cloruración de manera que para el agua normal su punto de congelación será a -1.887° .

La líneas de máximo de densidad y de punto de congelación se cortan en un punto que es -1.332°C y 13.665 de cloruración, por lo cual la temperatura más baja que puede existir en el fondo de los océanos es de -1.3°C aproximadamente.

La variación en la densidad con la temperatura para el agua pura ha sido consignada en el cuadro que está en la página 4 y 4a del primer fascículo de la Hidrosfera de estos apuntes. Para el agua salada esta variación ha sido calculada por una fórmula bastante complicada, cuyas constantes están calculadas en las Hydrographical Tables obra a la que se ha hecho referencia anteriormente. La fórmula es:

$$\sigma_t = \sigma_v - C$$

$$C = S\sigma - 0.1324 + (\sigma_0 + 0.1324) A_t - B_t (\sigma_v - 0.1324)$$

$$S_t = - \frac{(t - 3.98) \times t + 283}{503.570 \quad t + 67.26}$$

$$A_t = t(4.7867 - 0.098185t + 0.0010854t^2) \times 10^{-3}$$

$$B_t = t(18.030 - 0.8164t + 0.01667t^2) \times 10^{-6}$$

Como se ve, el cálculo de la variación en densidad es bastante complicado; en las tablas citadas están tabulados los valores de estas constantes para cada una de las temperaturas con lo cual se facilita el cálculo. En términos generales se puede decir que con la salinidad aumenta el coeficiente de dilatación de la solución. Cuando sólo se trate de una aproximación burda, se puede suponer que la dilatación del agua de mar es la misma que la del agua pura; pero debe tenerse en cuenta que esto es tan sólo una aproximación.

En la fórmula anterior el término S_t representa la variación de la densidad del agua pura.

He calculado los valores de S, A y B para varias temperaturas, y salvo error u omisión son los siguientes:

Temp.	S	Ax10 ⁻³	Bx10 ⁻⁶
0	.1324	0	0
5	.0082	21.6114	71.82
10	.2729	39.1330	115.37
15	.8736	53.3685	143.01
20	1.7697	61.134	167.36
25	2.9292	75.24	200.96
30	4.3268	84.5106	256.14

Calculando con estos datos se ve que el coeficiente de dilatación aumenta con la salinidad, es decir: que mientras mayor es la salinidad, mayor es su dilatación con la temperatura; para hacer ver esto me he puesto a calcular el coeficiente de dilatación media entre 0 y 30° para aguas de salinidad creciente y he encontrado los valores siguientes:

σ	$\alpha \times 10^{-3}$
0	.144
5	.154
10	.164
15	.173
20	.182
25	.191
30	.198
35	.205
40	.211
45	.217
50	.222

Como se ve el coeficiente de dilatación va en aumento, pero parece que tiende a un límite no lejano de 0.25, pero no me siento justificado a establecerlo.

Por lo anterior se ve que la densidad varía con la temperatura y la salinidad.

Con respecto a la variación de densidad con la compresión, no

tengo datos directos, pero en el primer fascículo página 5 y siguientes, están los datos de la compresibilidad del agua pura a varias temperaturas. Con respecto a la variación en la densidad con la presión y la salinidad, no tengo datos, pero por lo que se vió en referencia a la temperatura, la compresibilidad debe aumentar un poco con la salinidad, pero su influencia es siempre pequeña.

A continuación se presenta un cuadro sobre la variación entre las propiedades del agua dulce y el agua de mar, tomado del trabajo de R. H. Fleming y Roger Revelle (1).

	agua dulce		agua de mar	
Temperatura °C	15	15	20	15
Presión atmosférica	1	1	1	100
Compresibilidad v/px10 ⁻⁵	4.5	4.4	4.4	4.3
Coefficiente de dilata- ción x10 ⁻³	.260	.224	.268	.240
Densidad	0.346	25.994	24.785	30.396
Salinidad %	0	35.00	35.00	35.00
Efecto adiabático °C/atmósfera	.0018			
Temperatura de má- xima densidad	3.98	3.524		
Punto de congelación	0	1.910		
Índice de refracción	1.33341	1.33990	1.33940	
Calor específico	1.0000	.9932	.9918	.9934
Tensión superficial di- nas/cm	73.48	74.23	73.55	
Velocidad del soni- do m/s	1463.2	1503.8	1518.	1521.8
Conductibilidad térmica cal/dm ² /sx10 ⁻³	1.39	1.33	1.33	1.34
Viscosidad poises	.01144	.01223	.01086	.01219
Disminución de la ten- sión del vapor mm de Hg.		.232	.218	

Ahora vamos a ver la distribución de la salinidad en los grandes océanos y lejos de la influencia de los continentes. Para que el agua esté en equilibrio, estable, es indispensable que el agua de mayor densidad esté invariablemente abajo de las aguas de menos densidad y ya hemos visto que la densidad del agua de mar varía con la salinidad, temperatura y presión.

En la superficie del océano es donde debemos encontrar densidades menores en una columna vertical y como la densidad depende

(1) Recent Marine Sediments, Symposium de la A.A.P.G. (1939).

de la temperatura y ésta influye en manera notable, vamos a ver cuál es la temperatura media del océano y sus variaciones con la latitud. El cuadro siguiente nos da esta variación y está tomado de Fleming y Revelle (l. c. p. 86)

φ	t°C	φ	t°C	φ	t°C
0	27.0	30	21.5	60	5.0
5	27.5	35	18.6	65	2.8
10	27.5	40	14.0	70	.8
15	26.5	45	10.7	75	1.5
20	25.3	50	7.8		
25	23.7	55	6.2		

Aquí vemos que la temperatura en el ecuador es más alta que en las altas latitudes y por lo tanto la densidad del agua es menor que en las regiones cercanas a los polos, de lo que se deduce que hay una ligera pendiente por lo cual existe una corriente muy lenta y superficial del ecuador hacia los mares polares. Como se ve la temperatura media a los 70° de latitud es muy cercana de la congelación del agua desalinidad 35 por lo cual el agua en estas regiones se concentra y como el hielo es agua casi pura, la salinidad del agua restante aumenta y desciende por el fondo del océano hacia el ecuador para completar el ciclo. Este movimiento es muy lento. En algún lugar he leído que se estima en 1000 años el lapso requerido para completarlo.

La densidad no sólo varía con la temperatura sino que también es función de la salinidad, la cual es influenciada por la precipitación y la evaporación, aunque en el caso de la lluvia el agua diluida queda en la superficie, mientras que en el caso en que haya fuerte evaporación el agua desciende hasta donde encuentra agua de su misma densidad, bien sea por variación en temperatura o por salinidad. En el cuadro siguiente se consignan estas variaciones, tomadas de la obra ya citada anteriormente:

φ	Latitud, N norte y S sur.
Ll	Precipitación en milímetros
E	Evaporación en milímetros
Sal	Salinidad %

φ	Sal	Li	E	φ	Sal	Li	E
50S	34.00	850	430				
45S	34.12	850	660				
40S	34.78	850	810	40N	34.53	950	950
35S	35.33	650	990	35N	35.05	800	1070
30S	35.63	650	1120	30N	35.58	660	1220
25S	35.70	625	1250	25N	35.78	560	1310
20S	35.70	700	1340				
15S	35.54	860	1350	15N	35.10	840	1320
10S	35.35	965	1310	10N	34.73	1300	1310
5S	35.20	860	1250	5N	34.54	1790	1120
0	35.08	1025	1200	0	35.08	1025	1200

Por lo que se ve en el cuadro anterior la salinidad depende de la diferencia entre la precipitación y la evaporación, siendo más baja en las altas altitudes, más alta en las zonas tropicales y en el ecuador la salinidad es la que se considera normal.

Con la profundidad la salinidad tiende a aumentar, pero en muy pequeña escala, lo que si varía en forma más regular es la disminución de temperatura con la profundidad; lo que está en acuerdo con la ley de distribución por gravedad y en términos generales una variación en la temperatura tiene más importancia que la salinidad en la variación de densidad. Con frecuencia se nota que una capa menos salada está colocada debajo de otra más salada, pero en este caso la diferencia en temperatura compensa la variación en densidad por salinidad. En términos generales se puede decir que la salinidad varía poco y es cercana a la que se ha tomado como tipo que es la de 35.

El que quiera estudiar más detalles sobre este punto le recomiendo el trabajo de Arnold Schumacher en *Oceanography, Physics of the Earth-V*, Washington (1932) p. 358-81.

Ahora pasaremos a estudiar la constitución química de las sustancias que se encuentran contenidas en el agua de mar.

Ya hemos dicho que la composición de esta agua en lo que se refiere a ocho de sus iones es muy constante, lo cual no es de extrañar, dado que el agua del mar está en continuo movimiento y que por lo tanto el principio de la difusión predomina sobre el de la concentración por gravedad, que hemos visto que en parte se aplica solo a la salinidad, en términos generales. Los ocho iones, que forman más del 99% del total de los sólidos en disolución, en orden decre-

ciente de su abundancia son; cationes: sodio, magnesio, calcio y potasio; los aniones: cloro, sulfúrico, carbónico y bromo.

En el cuadro a continuación se dan algunos análisis de sales oceánicas, para que se pueda ver la variación en estos elementos: Se han tomado solamente unos cuantos del gran número de análisis que se han hecho:

ANÁLISIS EN % DE SÓLIDOS TOTALES

	1	2	3	4	5	6	7
Ca	1.197	1.187	1.192	1.20	1.87	1.19	1.06
Mg	3.725	3.701	3.708	3.71	3.53	3.81	3.64
Na	30.593	30.381	30.651	30.63	30.49	30.51	31.22
K	1.106	1.091	1.092	1.09	1.00	1.12	.67
CO ₂	.207	.195	.157	.20	.14	.19	.01
SO ₄	7.692	8.065	7.733	7.71	8.00	7.72	7.67
Cl	55.292	55.191	55.278	55.26	55.04	55.30	55.60
Br	.188	.189	.189	.20	.13	.16	.14
	En % de valores de reacción						
Ca	3.47	3.47	3.46	3.48	4.84	3.44	2.05
Mg	17.76	17.77	17.68	17.69	16.83	18.13	17.51
Na	78.77	78.76	78.86	78.83	78.33	78.43	80.44
CO ₂	.40	.38	.30	.39	.27	.36	.02
SO ₄	9.28	9.68	9.33	9.29	9.66	9.31	9.24
Cl	90.32	89.94	90.37	90.32	90.07	90.33	90.74

Todos los análisis caen en el triángulo dentro de los camos 4, por lo tanto su clasificación será 44.

- 1 Clarke 123A. Promedio de 77 análisis muy cuidadosos de varias localidades y tomadas durante la expedición del Challenger.
- 2 Oceanografía 114. Calculada para una agua de cloruración 19.00
- 3 Oceanografía 69. Calculada para una agua de cloruración 19.374.
- 4 R. H. Fleming y Roger Revelle, Recent marine sediments, p. 65. Calculadas para una agua de salinidad 35.00
- 5 Clarke 123E. Agua del Mar Báltico entre Oeland y Gothland. Salinidad 7.215. La más baja que he encontrado.
- 6 Clarke 124-O. Mediterráneo oriental; promedio de 42 análisis Su salinidad varió entre 38.36 y 41.15. Estos resultados representan la composición de una agua algo más salada que la normal.
- 7 Clarke 125 R. Muestra tomada en el Canal de Suez en Usmailia;

salinidad 51.03. Es el agua más concentrada que he pedido tener datos.

Ahora vamos a tratar de estudiar las variaciones en los elementos constituyentes de la salinidad del agua de mar. En esta parte me voy a permitir tomar muchos de los datos que están consignados en el excelente trabajo de Thomas G. Thompson y Rex J. Robinson (Oceanographic Laboratories, University of Washington). Publicados en el Capítulo V de la Oceanografía de Physics of the Earth. National Research Council, Washington, D. C. (1932). De esta obra, me refirió solamente a Oceanografía.

Como ya se ha dicho (página 6), el estudio de las sustancias en el agua del mar lo mejor es referirlas a la cantidad de uno de los elementos, que se toma como patrón y de aquí se ven las variaciones en los otros. Dijimos que se toma la cloruración o coeficiente de cloruración como base en la forma que se ha definido anteriormente.

COLORACION

Como ya se ha dicho esta varía dentro de muy amplios límites, sobre todo en las aguas superficiales; en las aguas de los mares interiores puede ser mayor o menor que la normal. Es mayor cuando la evaporación es fuerte y la lluvia poca y no hay la entrada de mucha agua dulce, así vemos que las aguas del Mediterráneo son de una cloruración más alta que la normal, que se toma como 19.374; y sobre todo en las aguas del Mar Rojo en donde se obtienen las aguas más saladas. La salinidad es menor que la normal en los mares que tienen poca evaporación, lluvia abundante y a donde llegan corrientes importantes de agua dulce; como tenemos el ejemplo del Mar Báltico, con una salinidad mas baja, como puede verse por el cuadro anterior.

El cuadro siguiente tomado de Oceanografía p. 112, nos da la variación en cloruración en varios mares y a diversas profundidades:

1	2	3	4	5	6	7
0	19.38	17.48	20.16	20.71	16.88	17.56
25	19.38	17.96	20.31		17.17	17.55
50	19.37	18.31	20.75		17.50	17.78
100	19.39	18.69			17.72	18.09
200	19.40	19.09			17.81	18.76
250	19.40	19.28			17.99	
300	19.39	19.33				19.05
400						19.25
900				21.28		

- 1 Profundidad en metros.
- 2 Océano Pacífico. 6°32'N y 80°26'W.
- 3 Océano Pacífico. 7°7'N y 78°41'W
- 4 Océano Pacífico. 58°55'N y 147°22'W
- 5 Océano Antártico. 63°47'S y 28°9'W.
- 6 Océano Antártico. 62°36'S y 36°2'W.
- 7 Golfo de Adén. 13°1'N y 47°10'E.
- 8 Océano Atlántico. 42°10'N y 47°19'W.

Por el cuadro vemos que en la superficie la salinidad es baja debido a la dilución por el agua de lluvia que a estas latitudes es bastante abundante, pero que ya a los 50 metros alcanza la salinidad normal y que de los 500 hacia abajo la salinidad disminuye un poco y es casi constante en este intervalo, lo que es debido a las corrientes frías que de los mares polares se dirigen al ecuador. En el Pacífico del norte la salinidad es algo baja y aumenta muy lentamente con la profundidad, lo que es debido a la poca evaporación y que ya aquí comienza el movimiento de convención hacia abajo por causa de la disminución de temperatura durante los prolongados inviernos. En todos los casos presentados, a una profundidad que varía entre los 500 y 1000 metros, el coeficiente de cloruración alcanza su valor medio.

Después del cloro el sodio es el elemento más abundante en las sales marinas y su relación con el cloro ha sido dada en un cuadro en Oceanografía p. 174, el que nos permitimos reproducir aquí, pues creo que poco se le podría mejorar y hasta donde sabemos es lo mejor que se ha publicado:

Investigador	Localidad	Muestras	Na/Cl
Dittmar	Todos los mares, menos los polares	77	.5514
Makin	Océano Atlántico	22	.5476
Schösing	Atlántico y Mediterráneo	3	.5528
Thorpe y Morton	Mar de Irlanda	1	.5573
Schmidt	Blanco y Báltico	6	.5536
Steiger	Atlántico	1	.5567
Wheeler	Atlántico	5	.5567
Schmelck	Atlántico	51	.5504
Forsberg	Mar de Siberia	4	.5484
Natterer	Mar Mediterráneo	42	.5510
Kolotoff	Mar Negro	1	.5518
Anderson y Thompson	Bahía de Puget	12	.5495

Total	225	
Promedio pesado		.5509
Diferencia cuadrática media		.0017
Iden en %		.31
Relación Na/Cl en el NaCl		.6486

Como se ve la relación entre estos dos elementos es bastante constante y tanto más si se tiene en cuenta que en la mayoría de los casos el sodio se determina por diferencia, después de la determinación del potasio, por lo cual el error econdado es del orden del límite de error de las operaciones analísticas.

En el caso del agua de mar, debido a su movilidad, que es grande, pero mucho menor que la del aire, hay que esperar que la uniformidad de composición no sea tan grande como en la atmósfera; pues simplemente que la difución en el agua puede dar lugar a ligeras diferencias en la composición.

También vemos que el cloro contenido en el agua de mar es bastante superior al que se requiere para formar cloruro de sodio.

SULFURICO

Este radical es el que viene enseguida en orden de abundancia. Como se ve por el cuadro de la página 15, forma como el ocho por ciento del total de los sólidos, en peso y en su equivalente el 9 o poco más de los iones.

La relación sulfúrico a cloro no es tan constante como en el caso del sodio, pues hay varias causas que tienden a producir variaciones en este radical.

Vamos primero a establecer la relación entre el sulfato y cloruro, es decir SO_4/Cl . Sin copiar los cuadros dados en la Oceanografía (p. 175-79) se encontró una relación, en promedio pesado de 0.1396 en 119 determinaciones hechas en el Laboratorio Oceanográfico. Se han tomado en cuenta los resultados de otros investigadores y de ellos se ha obtenido un promedio de 0.1395 en 551 análisis; resultado que es completamente comparable con el obtenido por Thompson y Robinson.

En el capítulo de aguas dulces hemos visto que, por regla general, el sulfúrico excede en mucho al cloro, como puede verse en el cuadro siguiente tomado de los datos publicados por la U. S. Geological Survey.

Cuenca	SO ₄ /Cl
Cuenca del Atlántico	2.00
del Golfo de México	2.58
del Río Mississippi	3.69
de los ríos de California	3.38
del Río Columbia	9.32
del Río Skagi', Washington	9.08
del Río Chehalis, Washington	1.23
de los ríos de Alaska	9.62

Aquí vemos que esta relación es siempre mayor que la unidad y en este caso en promedio algo mayor de tres. En Clarke (p. 116) hay datos sobre los promedios de las aguas continentales y de ellos

se han calculado los siguientes:

Aguas de	Peso	SO ₄ /Cl
América del Norte	10	2.06
América del Sur	4	1.40
Europa	6	3.48
Asia	11	2.46
Africa	7	1.53
Promedio pesado		2.23

Por lo anterior se ve que en el agua de mar hay más de 20 veces más cloro que en las aguas de los continentes. Si una agua continental se mezcla con las aguas marinas, la cantidad del sulfúrico tenderá a aumentar sobre todo en las aguas superficiales del mar, pero dada la pequeña cantidad de sulfúrico añadido con respecto a la cantidad de cloro contenida en el agua de mar la relación varía rará poco. Tomaremos el caso del Mar Báltico, en el ejemplo de la página 15, en cuya agua la relación SO₄/Cl es de 0.1452, que es notablemente más alta que la normal de 0.1395.

La relación puede ser algo menor por causa de la desaparición del sulfúrico por su precipitación como yeso que se deposita en el fondo, pues como veremos más adelante el agua de mar está casi saturada con respecto a yeso y si es'a sufre una concentración, el yeso se precipita en el fondo. En el ejemplo del agua del Canal de Suez, se encuentra que esta relación es de 0.1378, que es algo menor que la normal.

La otra causa de la disminución en el sulfúrico es por la reducción de los sulfatos a sulfuros, en presencia de materias orgánicas y

bajo la influencia de acciones bioquímicas. Estos sulfuros, en presencia del carbónico disuelto en el agua, liberan hidrógeno sulfurado, que es muy frecuente en las aguas en donde hay deficiencia de oxígeno. Zelinsky (1) encontró en las aguas del Mar Negro 99.4 mg. por litro en las aguas de 1185 brazas de profundidad y 5 a las 100. La cantidad de hidrógeno sulfurado se encuentra siempre en cantidades bastantes pequeñas para afectar sensiblemente la relación SO_4/Cl ; pero es que este se une al fierro formado hidrotroilita y por último pirita, que es muy abundante en los sedimentos marinos, y aun por oxidación da lugar a la formación de azufre elemental.

MAGNESIO

Este elemento es el que viene en seguida en el orden de abundancia. La relación entre la cloruración y el Mg que viene, está tomada del cuadro presentado en la Oceanografía y es como sigue:

Investigador	Localidad	Muestras	Mg/Cl
Mekin	Atlántico	22	.07050
Natterer	Mediterráneo	42	.06971
Schmelck	Atlántico	51	.06926
Forsberg	Mar Siberiano	4	.06889
Schmidt	Varios mares	9	.06835
Dittmar	Varios mares	77	.06815
Wheeler	Atlántico	5	.06697
Schösing	Atlántico	3	.06627
Thorpe y Morion	Mar de Irlanda	1	.06528
Kolotoff	Mar Negro	4	.06512
Steiger	Golfo de México	1	.06490
Bertrand	Atlántico	2	.06384

En este cuadro están consignados los resultados de 216 determinaciones, las que dan un promedio pesado de 0.06883. Las variaciones aunque no grandes son bastante fuertes para que digamos que la relación es constante; pero hay que tener en cuenta que los distintos analistas, debido a los diversos métodos de análisis tienen errores sistemáticos en el mismo sentido.

En el cuadro anterior aparecen cuatro investigadores que han trabajado sobre aguas del Océano Atlántico y que en total suman

(1) N. J. Zelinsky, Journ. Russ. Chem. Soc., 25 (1894) 298 303.

78 observaciones individuales y de las cuales se obtiene un promedio pesado de 0.06935, que es muy semejante al anterior, y que es algo diferente del de Bertrand, lo que más bien puede atribuirse a un error inherente al método, que a variaciones en la composición del agua del Atlántico.

En la misma Oceanografía se encuentra una serie de determinaciones hechas con mucho cuidado y empleando los métodos más refinados, sobre muestras superficiales. Las de la Bahía de Friday, Washington. Se tomó una muestra cada semana y con ellas se hicieron compuestas mensuales, las que se analizaron en los Laboratorios Químicos y Oceanográficos de la Universidad de Washington.

Localidad	Muestras	Mg/Cl
Bahía de Friday, Washington	24	.06692
Naniamo, Columbia Británica, compuesta de 6 muestras de 0 a 100 metros	1	.06700
East Sound, Washington, compuesta de 18 muestras de 0 a 20 metros	1	.06700
Golfo de Alaska compuesta de 240 muestras de 0 a 1500 metros	1	.06700
Golfo de Alaska, tres muestras individuales a 0, 50 y 100 metros, promedio	3	.06692
Promedio pesado		.06693

que es algo diferente de lo obtenido anteriormente, pero aquí se ve lo muy concordante de los resultados obtenidos en la Universidad de Washington.

La determinación exacta del magnesio tiene sus dificultades, pues generalmente se hace bajo la forma de pirofosfato de magnesio, que se forma por la calcinación de fosfato amoníaco magnesiano, el que, si en la solución hay potasio, reemplaza parte del amonio y de aquí que los resultados obtenidos sean relativamente altos. Por lo anterior creemos que la relación obtenida en la Universidad de Washington sea la más aceptable. Por otra parte la diferencia entre la relación 0.06883 y 0.06693 no es muy grande, pues para una cloración de 19 la diferencia es solo de 37 p.p.m.

Vamos ahora a comparar las aguas de mar con las continentales.

les y para esto tomaremos, como en el caso del sulfúrico, los datos de Clarke y tenemos:

Para América del Norte	.555 Mg/Cl
„ América del Sur	.450 „
„ Europa	.683 „
„ Asia	.645 „
„ Africa	.474 „
Promedio pesado continental	.575 „

En las condiciones en que se encuentra el agua de mar hay más bien tendencia a aumentar la cantidad de magnesio que a disminuirla. El aumento es debido al constante acarreo de magnesio que a disminuirla. El aumento es debido al constante acarreo de magnesio de la tierra hacia el mar, el cual muy poco es cíclico, como se discutirá más adelante. La única causa de pérdida, hasta donde sabemos, es que el agua de mar a presión tiende a cambiar su magnesio por cal para la formación de dolomita.

CALCIO

Este es el elemento que viene en seguida en orden de abundancia. Para demostrar su constancia en la relación con el cloro presentaremos, como en los casos anteriores un cuadro de las diversas determinaciones que se han hecho de este elemento y que como de costumbre tomamos de la Oceanografía.

Investigador	Localidad	Muestras	Ca/Cl
Thorpe	Mar de Irlanda	1	.02183
Schmidt	Varios mares	9	.02136
Schmelck	Atlántico del Norte	51	.02182
Forsberg	Mar de Siberia	4	.02128
Dittmar	Varios mares	77	.02162
Natterer	Mediterráneo	42	.02152
Natterer	Mar de Mármara	44	.02197
Kolotoff	Mar Negro	4	.02177
Schlösing	Mediterráneo y Atlántico	3	.02266
Steiger	Golfo de México	1	.02205
Wheeler	Atlántico Occidental	5	.02208
Bertrand	Atlántico y Medit.	2	.02112
Thompson y Wright	Pacífico del Norte	29	.02150
Suma y promedio pesado		272	.02169

Como se ve, los resultados son bastante concordantes y son más semejantes a los casos en que hay varias determinaciones.

El error más probable es que junto con el calcio se determine el estroncio, que también siempre está presente en el agua de mar aunque el error por esta causa es pequeño.

El calcio no puede ser muy abundante en el agua de mar por causa del ión sulfúrico que impide que haya una cantidad mayor de la que corresponde a la solubilidad del yeso. En el primer Capítulo p. 30. se ha dicho que un agua saturada de yeso contiene aproximadamente 612 p.p.m. de Ca en solución y por lo tanto si tenemos una solución con un coeficiente de cloruración de 19 esta agua contendrá 412 p.p.m. de Ca y que no está por lo tanto saturada con respecto a yeso; para alcanzar la saturación, su cloruración debe ser del orden de 24 ó lo que es lo mismo tener un salinidad mayor de 42. En el caso del agua del Canal de Suez, que tiene una salinidad de 51, vemos que la relación entre Ca y Cl es poco menos de 0.01888, lo que indudablemente es debido a la precipitación del yeso.

La relación del Ca al Cl en el aporte de las aguas continentales es:

América del Norte	1.39
América del Sur	3.29
Europa	6.79
Asia	4.00
Africa	3.36
Promedio Pesado	3.56

Vemos aquí la gran diferencia que hay entre las aguas continentales y las marinas en lo que se refiere a la relación Ca/Cl.

Con los datos anteriores podemos calcular la relación calcio a magnesio en las aguas marinas y continentales;

Aguas	Ca/Mg
Marinas	0.324
Continetales	6.19

Donde vemos la preponderancia del calcio sobre el magnesio en las aguas continentales y que en las marinas pasa lo contrario. Más adelante discutiremos lo que pasa con el calcio que proviene

de las aguas continentales y las variaciones que este elemento sufre en los medios marinos.

POTASIO

Este elemento se encuentra en el agua del mar en una proporción muy semejante a la del calcio. Su relación con respecto a la cloruración se da en el cuadro siguiente, que tiene los mismos datos y localidades que el del sodio, pues para determinar este último, generalmente se pesan las sales de sodio y potasio juntas, y determinando este, el sodio se calcula de la diferencia.

Investigador	Localidad	Muestras	K/Cl
Dittmar	Varios Mares	77	.01997
Makin	Atlántico	22	.02007
Schlösing	Atlántico, Mediterráneo	3	.01952
Thorpe y Morton	Mar de Irlanda	1	.02104
Schmidt	Mar Báltico y Blanco	6	.0168
Steiger	Atlántico	1	.01988
Wheeler	Atlántico	51	.0219
Schmelck	Atlántico	5	.0263
Forsberg	Mar Siberiano	4	.0211
Natterer	Mediterráneo	42	.02022
Kolotoff	Mar Negro	1	.0210
Anderson y Thompson	Puget Sound	12	.0191
Total y promedio pesado		225	.02000

Como se ve hay algunas variaciones, que aunque ligeras, son de bastante magnitud relativa, por lo menos no se ve la misma constancia que para los otros elementos.

Vamos a ver cual es la relación que en promedio encontramos para las aguas continentales, calculadas como ya se ha dicho:

	K/Cl
América del Norte	.238
América del Sur	.339
Europa	.800
Asia	.374
Africa	.415
Promedio pesado	.409

Por la que vemos que esta relación es bastan'e menor para las aguas marinas que para las continentales..

Ahora vamos a ver cuál es al relación entre sodio y potasio en las aguas marinas, aguas continentales y en el promedio de las rocas ígneas y tenemos:

	K/Na	Na/K
Aguas marinas	.0363	27.55
Aguas continentales	.388	2.577
Rocas ígneas	.988	1.021 ⁽¹⁾

vemos que la relación entre le sodio y el potasio va disminuyendo desde las aguas marinas hasta las rocas ígneas, lo que es debido a la propiedad selectiva de las arcillas por el potasio, a la forma de minerales potásicos como la glauconita, que en cierto modo es del grupo de las arcillas. Más adelante se tra'ará este punto con más detalle.

B R O M O

Este elemento está invariablemente presente en las aguas marinas, en cantidades relativamente pequeñas, pero siempre apreciables de orden de 1/500 del total de las sales.

La determinación de bromo presenta algunas dificultades, pero que poco a poco se han ido venciendo, por lo cual los análisis antiguos son poco fidedignos, pero ultimamente se han encontrado métodos relativamente sencillos y los resultados son bastante concordantes. La relación Br/Cl que se ha encontrado es:

Investigador	Localidad	de	a
Berglud	Mar del Norte	.00330	.00341
do.	Atlántico	.00337	.00341
do.	Golfo de México	.00341	
do.	Mediterráneo	.00343	
do.	Adriático	.00341	
do.	Kattegat	.00337	
do.	Báltico	.00316	.00344
Dittmar	Varios mares	.00343	
Promedio			.00337

Si el agua de mar tiene un coeficien'te de cloruración de 19 la cantidad de bromo es del orden de 64 mg por kilogramo de agua,

(1) Tomado de Clarke p. 27.

lo que se ve aunque relativamente pequeña hay una fuente inagotable de bromo en el agua de mar, pues un Km³ de esta agua contiene 66000 toneladas de bromo elemento.

No se sabe cuáles son las fuentes de ganancia o de pérdida del bromo, y parece que no hay lugar a concentraciones por lo cual su cantidad con relación al cloro debe ser muy constante, lo que en efecto lo es y las pequeñas diferencias que se encuentran son debidas, principalmente a errores analíticos. Se ha dicho que el bromo puede estar en el agua de mar bajo la forma de bromatos, pero esto no se ha podido demostrar.

En las aguas dulces se encuentra algunas veces bromo, pero esto sólo en las aguas algo concentradas, pues parece que el bromo debe guardar la misma relación en las aguas dulces que en las marinas con respecto al cloro y como la cantidad de cloro es muy pequeña, la de bromo será apenas determinable por los métodos ordinarios del análisis. Por esto se cree que en los análisis de las aguas dulces nunca aparece el bromo, a menos de que el analista haya tenido la ocurrencia de concentrar por evaporación cantidades relativamente grandes de agua.

CARBONICO

Este compuesto se encuentra disuelto en el agua de mar y con el agua forma el ácido carbónico, que como ya hemos dicho es un ácido débil y que por lo tanto el pH del agua de mar varía poco, pues los carbonatos actúan como amortiguadores, lo cual es lo que hace posible la continuación de la existencia de seres organizados en el mar, pues somos sumamente sensibles a los cambios en la acidez del medio.

La suma de los aniones muy ionizables, en valores de reacción, es invariablemente ligera inferior a la de los cationes, por lo cual en el agua de mar ha siempre alguna alcalinidad la que estará representada por carbonatos, para hacer la solución eléctricamente neutra.

En los ejemplos presentados en la página 15 de este fascículo, vemos que la cantidad de carbónico, o mejor alcalinidad como CO₃, es pequeña y del orden del 0.2%, siempre menor, del total de las

sales y en donde se expresan los análisis en % de valores de reacción, la alcalinidad es siempre inferior al 0.40% de la salinidad de manera que para una agua de salinidad normal, 35‰, la cantidad máxima de carbónico combinado sería del orden de 70 p.p.m.

Pero no todo el carbónico se encuentra bajo la forma iónica, sino que algo está disuelto en el agua y que éste contribuye a variar ligeramente el pH del agua como se ve en el cuadro siguiente, tomado de la Oceanografía p. 133: para una agua de salinidad 32.45 y a la temperatura de 20°C:

pH	pCO ₂	(en mm de Hg)
6.66	10.0	
6.76	7.5	
6.92	5.0	
7.26	2.5	
7.57	1.0	
7.71	.75	
7.92	.50	
8.19	.25	
8.29	.10	

La solubilidad del CO₂ en el agua varía con la temperatura y con la salinidad, el primer factor tiene mucho, más importancia que el segundo. En el primer capítulo de Hidrósfera, p. 12, está la solubilidad de los gases atmosféricos en el agua y se ha calculado que para el agua a 20° la tensión del CO₂ es el 1.44% del total de los gases en equilibrio con la presión normal atmosférica de 760 mm. Luego el CO₂ en el agua será de 10.9, pero como la solubilidad es menor el pH del agua de mar es el que corresponde a una presión de 10 mm y que es de 6.66.

Con respecto a la cantidad de CO₂ que está contenida en el agua de mar, hay una que se relaciona con la alcalinidad y que es fija, es decir que si el pH de la solución aumenta, por la disminución del CO₂ la alcalinidad disminuirá por precipitación del CaCO₃. En el promedio de las aguas marinas tenemos que la cantidad de CO₂ en el conjunto de las sales es del orden de 0.2%, generalmente algo menor, que para una salinidad media de 35 da 70 p.p.m. de CO₂, que son equivalentes a 51.3 de CO₂; como en presencia de CO₂ los carbonatos toman otra cantidad de CO₂ igual a la que tienen combinada, para formar los bicarbonatos, se tiene, por lo menos otro tanto de CO₂ disponible; además se tiene que el CO₂

es soluble en el agua, cierto que en cantidad que apenas si llega a un miligramo por litro a temperaturas bajas como las que predominan en el océano, en el cual la temperatura disminuye rápidamente con la profundidad, hasta los 150 metros y luego muy lentamente en temperaturas a partir de los 5°C, en donde desciende muy lentamente con la profundidad, hasta llegar a temperaturas ligeramente inferiores a 0°C en algunas fosas marinas. Como la solubilidad del CO₂, disminuye con el aumento de temperatura, tenemos que a 20° puede contener como 0.5 mg. por litro sobre la cantidad necesaria para formar las bicarbonatos y a 0° contiene como 1 mg. de manera que en términos generales el agua de mar contiene, conservadoramente se puede suponer, que 50 p.p.m. de CO₂ aprovechable. Si tomamos los datos de la página 1, tenemos que la cantidad de CO₂ contenido en la hidrósfera es del orden de 66.95x10 toneladas y en la atmósfera es de 15.84x10, que están en la relación de 42:1. En números redondos podemos decir que en los océanos hay unas cuarenta veces más carbónico que en el aire y por esto se dijo que el mar obra como regulador en la cantidad de este gas en la atmósfera y por lo mismo no variará, dentro de lapso grande, humanamente hablando.

En la superficie del océano hay un intercambio constante entre el carbónico del aire y el del agua marina. El agua de los ríos trae una cantidad de CO₂, relativamente grande como puede verse en el cuadro siguiente en el que se da la relación entre el CO₂ aprovechando en el agua de los ríos, que se toma como igual al combinado a los cationes y que es:

Continente	CO ₂ /Cl
América del Norte	3.29
América del Sur	4.14
Europa	8.52
Asia	5.01
Africa	4.22
Promedio pesado	4.88

Para el agua de mar la estimaremos considerando 50 p.p.m. de CO₂ y una cloruración de 19.000 con lo que se tiene que esta relación estará representada por el número 0.00027.

Al llegar las aguas continentales y mezclarse con la del medio marino, pierden la mayor parte de carbónico que vuelve a la atmósfera y el fijo se precipita bajo la forma de carbonato de calcio con algo de hidrocbonato de magnesio.

En el medio marino, las plantas verdes acuáticas sintetizan su materia orgánica tomando su carbonato del que se encuentra disuelto en el agua por lo que disminuye la presión de este gas, al hacer esto el pH aumenta y se precipita la cantidad correspondiente de CaCO_3 . El agua empobrecida en carbónico se pone en contacto con el aire y como está en continuo movimiento facilita el establecimiento del equilibrio con el carbónico de la atmósfera. Durante el día, cuando hay luz y que se ejerce la acción clorofiliana de las plantas, el agua es sólo parcialmente saturada con CO_2 , pero durante la noche se restablece el equilibrio y de esta manera, en promedio, para un punto dado, la cantidad de carbónico no varía, no obstante la continua formación de materia orgánica y de la precipitación de carbonato de calcio.

Muchos de los animales del medio marino tienen un esqueleto externo de carbonato de calcio, el que toman del agua marina, secretando sustancias alcalinas, (amoníaco u otras aminas) con lo que logran aumentar el pH del agua y de esta manera provocar la precipitación del CaCO_3 , el que protegen de la disolución secretando una especie de barniz de sustancias nitrogenadas. Los organismos desprovistos de clorofila en vez de sustraer al agua gas carbónico, le dan por medio de su respiración.

En las capas más profundas del océano, a donde ya no llega la luz, ya que sólo dentro de los dos primeros 100 metros la luz tiene influencia, el carbónico no tiene oportunidad de disminuir, antes bien tiene tendencia a aumentar por el efecto de la respiración de los organismos, de donde resulta que el agua del mar a profundidad está sobresaaturada con CO_2 . Como varios de los organismos del benton (seres que viven en el fondo del mar) tienen esqueleto calizo, resulta que el agua de ésta sólo no está saturada con carbonato de calcio y por lo tanto hay más bien tendencia a disolver la calcita que a precipitarse.

Los elementos que se han tratado anteriormente forman aproximadamente el 99.96% de los elementos fijos en solución en el

agua de mar, ahora vamos a tratar de los otros elementos, que aunque en muy pequeña cantidad, pero que dada la enorme masa del agua de mar, son de importancia e influyen sobre la distribución de los elementos en las rocas sedimentarias.

OXIGENO

Ya hemos visto cuál es la solubilidad del aire en el agua y la composición de los gases disueltos en la misma. Los factores que hacen variar la solubilidad de los gases en el agua son la temperatura y la salinidad. La primera tiene bastante influencia, pero como ésta es sólo variable en la superficie y la temperatura desciende, al principio rápidamente con la profundidad y después muy lentamente, tendremos que la solubilidad de los gases, en promedio será la que corresponde a 5°C, que como se ha dicho en la página 11, el agua saturada con aire, a esta temperatura, contiene 12.87 mg de oxígeno por litro; que es equivalente a 9 cc de O₂.

En la superficie el agua está bien aireada y tiene oportunidad de recoger suficiente oxígeno, aunque en esta zona es donde también hay mayor consumo, pues aquí es donde la vida es más concentrada. Como la cantidad de oxígeno es función de la temperatura del agua, tenemos que en el ecuador el contenido en oxígeno es de 2 a 4 cc por litro y que esta cantidad va aumentando hacia los polos. En la Oceanografía (página 365) tenemos que a los 60° de latitud norte el contenido en O₂ de las aguas superficiales es de unos 6 cc, y a la misma latitud sur, en el Océano Atlántico, es de 7 cc. Aquí el agua baja y circula hacia el ecuador, llevando consigo su carga de oxígeno, la que es consumida a medida que los organismos lo van usando; por esto vemos que el oxígeno en los mares aumenta con la profundidad y para luego disminuir hasta 0 en las fosas marinas en donde no hay circulación de agua, en este caso en vez de oxígeno hay hidrógeno sulfurado, como ya se dijo antes.

En la Oceanografía (página 378) encontramos el cuadro siguiente:

Cantidad de oxígeno en el Océano Pacífico según los datos de "Gernegie" calculados por Moberg y Graham (1930).

Entres las latitudes	Estaciones	Oxígeno en ml por litro a la profundidad de:			
		2000	2500	3000	3500
37-20°N	8	1.7	2.3	2.65	2.9
20-0°N	5	2.1	2.3	2.6	2.95
0-13°S	3	2.8	3.1	3.1	3.4

Como se ve hay siempre una pequeña cantidad de oxígeno que es lo que mantiene la vida aún en las grandes profundidades marinas.

NITROGENO

Este elemento existe en las aguas en cantidades mayores que el carbónico y el oxígeno, pero como es completamente inerte, no se le da mucha atención, aunque es posible que en la superficie pueda entrar a formar parte por medio de síntesis efectuada por los organismos microscópicos del nitrógeno orgánico.

En las aguas marinas se encuentran pequeñas cantidades de materias orgánicas, las cuales son siempre nitrogenadas y además se encuentran pequeñas cantidades de nitratos que según los datos de la Oceanografía (p. 114) existe en la proporción de 0.87 y además de cantidades más pequeñas de amoníaco y nitritos, pero estos últimos están continuamente transformándose en nitratos que es en la forma que el nitrógeno es asimilable por las plantas, con excepción de los organismos que fijan el nitrógeno elemento.

ESTRONCIO

De los elementos que se encuentran en cantidades pequeñas, es el que aparece en mayor cantidad, según la Oceanografía su concentración es del orden de 13.14 p.p.m.

Este elemento se encuentra con toda facilidad, más bien dicho, se identifica en las aguas del mar, pero su determinación cuantitativa es algo más difícil. Los diversos investigadores han encontrado de 13 a 13.5 mg de estroncio por litro de agua. En las conchas marinas se encuentra este elemento en cantidades más o menos grandes; es notable el caso de que algunos de los esqueletos de radiolarios del Antártico, están formados, casi totalmente de carbonato de estroncio.

La relación entre el Sr:Ca es de 0.033. El agua de mar está casi saturada con respecto a carbonato de calcio en equilibrio con el carbónico atmosférico.

La solubilidad del SrSO_4 ha sido determinada por Kohlrausch en 114 p.p.m. y aumenta ligeramente con la temperatura, esto corresponde a unas 54 p.p.m. de Sr. La del carbonato es de 8.2 a 9° a 10.9 a 24° que corresponde a unas 5. p.p.m. y la solubilidad aumenta con la temperatura. El producto de solubilidad (Sr) (CO_3) se ha encontrado 1.567×10^{-9} . La presencia del cloruro de sodio tiende a aumentar la solubilidad de estas sales y la presencia de CO_2 en exceso del necesario para formar carbonatos saturados, también aumenta la solubilidad del Sr por lo tanto en el agua de mar parece ser una solución saturada con respecto a estroncio, en las condiciones de equilibrio con el CO_2 y la salinidad del agua.

ALUMINIO

La Oceanografía da como la cantidad de Al en el agua de mar 1.89 p.p.m. Dittmar dice que se puede fácilmente identificar en el agua por los reactivos ordinarios; lo mismo dice Clarke en su obra; pero parece difícil que se encuentre en esta cantidad en solución iónica, pues el producto de solubilidad para el Al (OH)₃, (Al) (OH)₃ es aproximadamente a la temperatura ambiente de 1×10^{-15} , que equivale a una concentración de 0.8 p.p.m., cierto que la solubilidad es dependiente de la concentración de OH, pero el agua de mar es una solución que tiene el pH casi igual a la del agua pura. Estimo que el aluminio está más bien que en solución iónica, en solución coloidal, bien en la forma de hidróxido o bien en la forma de arcilla, también puede estar disuelto merced a la materia orgánica.

En el Archipiélago de San Juan se tomaron muestras superficiales del agua de mar, durante todo un año y en ellas se encontró una cantidad que varía entre 0.6 y 2.4 mg de Al por litro. Se encuentran variaciones estacionales, el máximo de Al se encuentra en las épocas en que las corrientes continentales traen mayor cantidad de sustancias en suspensión.

B O R O

Este elemento se encuentra en el agua de mar en forma iónica como alguno de los ácidos bóricos, pero para mayor uniformidad lo he calculado, con los datos de la Oceanografía en BO_2 y que está en la proporción de 1.59 p.p.m. Varios investigadores han encontrado boro en las aguas de mar, pero siempre en muy pequeñas proporciones. También se encuentra en las cenizas de las plantas marinas. J. A. Veatch encontró boro en las aguas de la costa de California en 1859. El Dr. C. C. Scofield encontró en aguas del Océano Atlántico, hasta 4 mg. de boro. La proporción arriba indicada no es muy segura, lo que sí es un hecho es que el agua de mar contiene boro en muy pequeñas proporciones y que estas huellas siempre han existido en el mar y que hay tendencia a aumentar, pues los compuestos de boro, mejor dicho los boratos, tienen una solubilidad mucho mayor que la que corresponde al agua de mar y por lo tanto habrá tendencia a permanecer en solución.

Sabemos que en las sales de Stassfurt, existen los boratos, en una proporción muy pequeña y que entre los minerales encontramos: pinnoita $\text{MgB}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, Boracita $\text{Mg}_7\text{Cl}_2\text{B}_{10}\text{O}_{30}$, en compañía de la kainita $\text{MgSO}_4 \cdot \text{KCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Esto es entre los últimos productos de cristalización, junto con las sales de magnesio y potasio que son las últimas en cristalizar.

F L U O R

La Oceanografía dice que el contenido en el agua de mar de este elemento es de 0.82 p.p.m. Forchhammer y Wilson 1850 han encontrado que un litro de agua de mar contiene 0.7 mg de fluor por litro; lo que concuerda con los resultados obtenidos por A. Carnot (1896) que da para las aguas del Atlántico 0.822. Otros investigadores han encontrado cantidades mayores y menores que las anteriores. Dada la dificultad que había para la determinación de pequeñas cantidades que de fluor en las aguas parece que el dato de la Oceanografía es bastante cercano a la verdad.

La solubilidad del fluoruro de calcio ha sido determinada por Kohlrausch, quien ha encontrado:

Solubilidad en p.p.m.

Temp.	CaF ₂	F
0	14.9	7.2
25	15.9	7.7
40	16.7	8.1

por lo cual se ve que la solubilidad de la fluorita es pequeña, aunque el agua de mar está muy lejos de estar saturada con respecto a este mineral. El fluor se une con el calcio y el fosfórico para formar la fosforita, mineral que tiene una solubilidad pequeñísima en el agua pura, pero que es ligeramente soluble en el agua cargada de CO₂, por lo cual en el agua de mar hay un equilibrio entre estos tres iones.

El fluor entra en la formación de los dientes de los seres marinos y también se ha encontrado en las conchas de los moluscos.

SÍLICE

En las aguas de mar se encuentra una cantidad pequeña, aunque variable de este elemento, que bajo la forma de SiO₂, el agua contiene una cantidad alrededor de .24 p.p.m. Por lo menos para las aguas superficiales, pues el contenido en Sílice del agua aumenta con la profundidad. La sílice parece que está al estado iónico, pero ya sabemos que este compuesto es muy susceptible de polimerizarse, dando lugar a la formación de ópalo, de manera que la sílice está en relación con la alcalinidad y con el carbónico total que se encuentre en el agua.

La sílice es elemento indispensable en la formación de los esqueletos de diatomeas, pues en un kilogramo de diatomeas secas, 225 gramos son de SiO₂. Forma parte de los caparazones de algunos radiolarios y también de las espículas de las esponjas. Entra también en la formación de algunos minerales como la glauconita y en los pedernales.

FIERRO

Dada las condiciones del pH del agua de mar el hierro no puede encontrarse en el estado iónico, pues cualquier sal de hierro que entre al mar en presencia del oxígeno y con el pH del agua el hierro se precipitaría bajo la forma de hidróxido $\text{Fe}(\text{OH})_3$, el que se polimeriza más o menos y es uno de los compuestos menos solubles en el agua. Pero el hierro férrico es soluble en la materia orgánica y después de la destrucción del complejo, en medio ácido, es fácil reconocer que este elemento se encuentra siempre en el agua de mar. Su cantidad es bastante variable y parece que el contenido aumenta con la profundidad. En un cuadro que se encuentra en la Oceanografía (página 144) se ha encontrado que en el estrecho de Juan de Fuca la cantidad de este elemento varía de 0.037 a 0.280 p.p.m. y en el Archipiélago de San Juan de 0.030 a 0.085 entre la superficie y los 150 metros de profundidad. Teniendo en cuenta los datos de otros observadores se puede decir que el promedio de contenido es entre 0.1 y 0.2 mg por litro.

Este elemento parece que aumenta el vigor y la reproducción de las diatomeas y además se encuentra en el organismo de los animales marinos. Entre los minerales que se forman en el océano en que este elemento es indispensable, tenemos la glauconita, limonita, hidrotroilita y algunas de las arcillas del grupo nontronita.

FOSFORO

Este elemento es indispensable para el crecimiento de las plantas marinas y con frecuencia es el factor límite. En las aguas superficiales el fósforo, que existe bajo la forma iónica de PO_4 , a veces disminuye totalmente, sobre todo en las horas en que la luz es más intensa y entonces el desarrollo de los vegetales acuáticos se encuentra totalmente detenido.

El fósforo se encuentra bajo la forma de ión fosfórico y en combinación con las materias orgánicas de las que es liberado por acciones biológicas de descomposición para volver a la forma iónica; las plantas sólo se producen en la parte superior del medio marino, en donde las plantas pueden obtener energía suficiente bajo la forma de luz, para la síntesis de sus componentes. Los organismos al

morir, sus restos descienden lentamente y son descompuestos, por lo cual las aguas más profundas son más ricas en fósforo que las superficiales y mucho del fósforo se pierde, por lo menos temporalmente en los sedimentos marinos. El fósforo vuelve en parte a la superficie por convección, lo que es más fácil en las regiones polare que en el ecuador, ya que debido a la diferencia de temperaturas, la diferencia de densidad es menor y por tanto la convección es más fácil. El fósforo también es traído por los ríos de las áreas continentales y de esta manera se establece el equilibrio en el mar.

Con respecto a la cantidad tenemos los datos tomados para el Canal Inglés, en donde se han tomado muestras de la superficie y del fondo, y en promedios anuales tenemos:

Localidad	Superficie Fondo	
	p.p.m.	de PO ₄
Canal Inglés	.021	.031
Loch Strivan	.037	.049
Mar del Norte	.159	.187

en este cuadro vemos que las aguas más frías contienen mayor cantidad de fósforo y lo mismo que el contenido en éste aumenta con la profundidad y que la diferencia relativa entre la superficie y el fondo también disminuye con la temperatura media del lugar.

Thompson⁽¹⁾ trabajando en Puget Sound encontró que las aguas de aquí tienen mayor proporción de fosfatos que las aguas europeas. También encontró que el contenido de fósforo aumenta con la profundidad, como puede verse por el cuadro siguiente:

Profundidad metros	PO ₄ p.p.m.
0	.121
10	.135
25	.141
100	.153
200	.168

aquí vemos como el contenido en fósforo aumenta con la profundidad.

(1) T. G. Thompson, R. McKorkell y R. U. Bonnar, Marine Biol., Stanford Press, septiembre de 1930.

En las regiones árticas en donde los movimientos de convección son más fáciles se encuentran en las aguas superficiales mayores cantidades de fósforo, hasta 0.220, que es como 10 veces mayor que la que se encuentra en las zonas cálidas.

Como decíamos, el contenido medio del mar se puede estimar en unas 0.140 p.p.m. de PO_4 .

MANGANESO

Este elemento se encuentra fácilmente en el agua de mar; el primero que llamó la atención sobre este asunto fue Dieulafait (1883), quien discutió los resultados de los análisis hechos sobre muestras de agua colectadas entre Nueva York y Marsella; aunque más antes Forchhammer (1865) había señalado cualitativamente la existencia de este elemento. Aunque hay muchas referencias sobre este asunto, en realidad existen pocos datos con respecto a su cantidad, distribución y manera de presentarse. Lo más probable es que este elemento se encuentre en la materia orgánica, pues como es bien sabido este elemento al estado iónico se oxida fácilmente y pasa al estado de compuestos prácticamente insolubles. En los fondos marinos se encuentran nódulos de manganeso que, como veremos más adelante, contienen de 4 a 63% de MnO . El manganeso, en cantidades muy pequeñas entra en las oxidasas. La cantidad de manganeso en el agua de mar, la tomaremos del dato de la Oceanografía que señala la proporción de 0.16 p.p.m.

COBRE

Dieulafait (1880) ha encontrado en las aguas del mar cobre en cantidades de 0.1 a 0.2 p.p.m. Otros investigadores han encontrado 0.14 p.p.m. en las aguas del Golfo de México, pero también se han encontrado aguas en las cuales no se ha podido demostrar la existencia de este elemento.

Se encuentra en las cenizas de varias plantas marinas y es sabido que la hemocianina, que se encuentra en la sangre de los moluscos contiene cobre. En cantidades de unas cuantas partes por millón se ha observado que es tóxico, como se observó en un nau-

fragio de un barco cargado con sulfato de cobre, en la costa de Cornwall, que mató las plantas marinas y también algunos moluscos en las cercanías del punto donde ocurrió el accidente. Pequeñas cantidades son favorables a la vida.

La cantidad en promedio, que de este elemento existe en el agua marina se puede estimar en 0.13 p.p.m.

LITIO

Este elemento se encuentra en cantidades muy pequeñas en todos los minerales de las rocas ígneas y es un acompañante del sodio el que según Angel Hoyos de Castro (Instituto Español de Edafología, Ecología y Fisiografía Vegetal; Madrid, 1955) se encuentra en la proporción con el sodio de 0.0019. Es muy frecuente, por lo menos en cantidades muy limitadas en las aguas de los ríos y lagos. Según la obra citada (página 19) la relación de litio a sodio en el agua del mar es de 0.0000065 y con los datos de la Oceanografía encuéntrase la relación 0.0000096. Por esto vemos que la relación entre ambos elementos es muy inferior en el agua que en la roca, lo cual es probablemente debido a que en las arcillas, algunas especies, contienen litio.

La Oceanografía da la cantidad de litio que en promedio se encuentra en las aguas marinas del orden de 0.10 p.p.m.

Con los valores anteriores se formó los 0.04% que faltaban para completar el 100.00% del total de las sales disueltas en el agua de mar. Ahora vamos a tratar de los elementos que se encuentran en cantidades inferiores a 0.01 p.p.m. y que referidas al total de las sales son inferiores, en su conjunto a 0.01%.

IODO

Este elemento fue encontrado por primera vez en las cenizas de las plantas marinas y por lo tanto debió estar presente en las aguas del mar. Al principio fue imposible demostrar que este elemento existiese en el agua, pero más tarde sí se ha demostrado y determinado su presencia. El iodo se encuentra principalmente bajo la forma de iodo orgánico y probablemente bajo la forma de iodato y en parte como ioduro.

Gautier ha estudiado la forma de combinación del iodo en las aguas del Mediterráneo y ha encontrado los resultados siguientes, en mg. por litro o sea en partes por millón ó 10^{-6} :

	Superficie	880 m	980 m
Iodo orgánico insoluble	.286	0.100	.065
Iodo orgánico soluble	1.960	2.130	1.890
Iodo inorgánico	.000	.150	.305
Iodo total	2.246	2.380	2.260

Por este cuadro se ve que en la superficie la mayor parte del iodo está formando parte de la materia viva la que a profundidad se va transformando en productos solubles y en iodo inorgánico, la cantidad total es del mismo orden de magnitud en las distintas profundidades.

La cantidad de iodo que existe en el agua de mar se puede estimar en unos 2 a 25, (en promedio 2.25) miligramos por litro. (Parece que debe ser más bien 0.0225, miligramos por litro).

PLATA

El cloruro de plata es prácticamente insoluble en el agua, y algo más soluble en soluciones salinas. En el agua pura su solubilidad es a la temperatura media ambiente como de 1.5 p.p.m.; pero el bromuro es menos soluble, su solubilidad es como de 0.484 p.p.m. y el ioduro es aun menos soluble como 0.0028. Por lo tanto hay que esperar que este elemento se encuentre sólo en cantidades extremadamente pequeñas.

En 1908 Wagoner encontró en las costas de California cantidades entre 304 y 1063 miligramos por metro cúbico de agua o lo que es lo mismo de 0.304 a 1.063 p.p.m. Pero parece que estos resultados han sido demasiado altos, pues lo más probable es que la cantidad de Ag en el agua del mar sea del orden de 0.022 p.p.m. que representa 22 mg. por metro cúbico, lo que está de acuerdo con la solubilidad del ioduro de plata que en presencia de sales puede llegar a esta cifra, que es como la tercera parte de la solubilidad de la plata en presencia de bromuros.

B A R I O

Dada la pequeñísima solubilidad del sulfato de bario en el agua que según Kohlrausch es del orden de 2 mg. por litro, es de esperarse que esta sustancia esté contenida en el agua de mar en meras huellas.

Pocas medidas se han hecho a este respecto, pero parece que la cantidad probable que exista en este medio es del orden de 0.02 p.p.m., que como se ve está en una proporción mucho menor que la que corresponde a la solubilidad del sulfato de bario.

En los fondos marinos se han encontrado unos nódulos que contienen sulfato de bario aún en la cantidad de 75%. También se ha encontrado bario en las cenizas de varias plantas marinas. Parece que los organismos tienen importancia en mantener las aguas marinas en estado de no saturación con respecto a algunos de los elementos poco solubles. En el mar la relación Ca:Sr:Ba: es de 4000:100:1.

ARSENICO

Este elemento fue descubierto en el agua de mar por Daubrée, pero las primeras investigaciones cuantitativas fueron hechas por Armand Gautier en 1903, quien encontró de 0.01 a 0.025 p.p.m. en las aguas del Océano Atlántico. Este elemento se encuentra principalmente en combinación con las materias orgánicas y probablemente la cantidad disuelta en el agua de mar es pequeñísima, pues es sabido que este elemento es muy tóxico, pero que es indispensable en pequeñas cantidades para el metabolismo normal.

Si en el agua se encuentra en cantidades pequeñas y la mayor parte bajo la forma de material orgánico, en los organismos marinos se encuentra en cantidades de varias partes por millón. En las langostas, por ejemplo, se han encontrado en promedio unas 60 p.p.m., pero en casos extremos se han llegado a encontrar hasta 110.

En los lodos de los fondos oceánicos se han encontrado desde 100 hasta 1600 p.p.m. de arsénico informado como As_2O_3 .

Como el arsénico es muy semejante al fósforo, en las determinaciones de fósforo con frecuencia se introduce el error del arsénico, pero siempre la proporción de este último es muy pequeña.

Con respecto a la cantidad de fósforo que se encuentra en las

aguas marinas tomaré el dato de la Oceanografía que es de 0.0060 p.p.m. como AsO_4 .

ZINC

Este elemento ha sido determinado por Dieulafoy en 1879 en las aguas madres de las salinas y de sus resultados concluye que el agua de mar contiene 0.002 p.p.m. Otros investigadores han encontrado cantidades más o menos grandes, pero todas dentro del mismo orden. Se ha encontrado este elemento en las cenizas de algunas plantas marinas y también en la carne de los animales, pero siempre en cantidad de unas pocas de partes por millón. Su cantidad puede estimarse en 0.0019 p.p.m.

ORO

Este elemento fué encontrado por primera vez por E. Sonstadt en 1872, y después su presencia se ha comprobado repetidas veces. Con respecto a su cantidad, los resultados no son muy concordantes, pero siempre en cantidades pequeñas. H. S. Blackmore en 1911, investigó las posibilidades de extraer comercialmente el oro y la plata de las aguas del mar y llegó a la conclusión de que no es comercialmente posible, pues dice que durante cinco años que estuvo trabajando en el problema, se gastó de cuatro a cinco mil dólares y que obtuvo una cantidad de estos metales que sólo valdría unos cinco. Esto no quiere decir que el problema sea imposible, sólo que es muy difícil; el método que parece da mejor resultado es la coprecipitación con otros metales.

El oro no se sabe en qué forma exista en las aguas marinas, pero es muy probable que esté en la forma iónica trivalente.

Su cantidad puede estimarse en 0.00005 p.p.m. Si tenemos un kilómetro cúbico de agua de mar que pesa 1.02×10^9 toneladas y lo multiplicamos por la ley que se ha dado para el agua de mar que es 50×10^{-12} , resulta 51.35×10^{-3} o sean 51 Kg. de oro metálico. Este número es muy inferior al que calculó Blackmore, pero parece más ajustado a la realidad.

Estos son los elementos que se encuentran listados en la Oceanografía en la página 114 y la que voy a reproducir en seguida, pero

calculada en p.p.m. También se pone el cuadro que aparece en el trabajo de Geoquímica de Don Angel Hoyos de Castro, ya citado:

Elemento	Oceanografía		A.H.C.	
Cl	18969		19300	
Na	10442		10700	
SO ₄	2772		2640	
Mg	1272		1300	
Ca	408		420	
K	375		370	
CO ₃	67		100	
Br	65	34370	66	34896
Sr.	13.14		10	
Al	1.89		—	
BO ₂	1.59	16.62	3.9	13.9
NO ₃	.87		—
F	.82			1.0
SiO ₂	.24			2.1
Fe	.20		—	
PO ₄	.19			.18
Mn	.16		—	
Cu	.13			.01
Li	.10	2.71		.07 3.36
I	.044			.05
Ag	.022			.0003
Ba	.020		—	
Rb	—	.086		.02 .0703
AsO ₄	.0060			.037
Zn	.0019			.07
Au	.00005			.00001
Cs	—	.00795		.002 .10901
Total		34389.42395		34913.43931

Como se ve en el cuadro anterior, los datos obtenidos de diferentes fuentes son muy semejantes, sobre todo en lo que se refiere a los elementos más abundantes, que en los que se encuentran en trazas, como hay muy pocos datos y los métodos analíticos son de poca aproximación en estos casos, los datos son muy concordantes.

pero en general están de acuerdo en el orden de magnitud. Vamos a hacer la comparación entre ambos refiriéndola al por ciento de sólidos totales y tenemos:

Los elementos se han dividido en 5 grupos como se ve en el cuadro anterior.

Radicales	Oceanografía	Hoyos
Cl	55.1594	55.2796
Na	30.3640	30.6472
SO ₄	8.0606	7.5616
Mg	3.6988	3.7235
Ca	1.1864	1.2030
K	1.0904	1.0598
CO ₃	.1948	.2864
Br	.1890	.1890
Primer grupo	99.9434	99.9501
Segundo grupo	.0483	.0398
Tercer grupo	.0079	.0096
Cuarto grupo	.0003	.0002
Quinto grupo	.0001	.0003
	100.0000	100.0000

Por el cuadro anterior se nota mejor la semejanza entre los datos dados por diferentes autores.

A continuación vamos a tratar de la presencia en las aguas del mar de otros elementos que directa o indirectamente se han encontrado y como una demostración de la omnipresencia de los elementos.

Rubidio y Cesio.—Estos dos álcalis son acompañantes del potasio, pero son extremadamente raros y se encuentran en huellas en las aguas minerales, como por primera vez lo puso en evidencia Bunsen, por medio del análisis espectral. En las aguas de mar algunos investigadores han encontrado cantidades más o menos dudosas de estos elementos. En donde si se han encontrado con clara evidencia es en algunos de los depósitos salinos, en las aguas madres y que provienen de grandes cantidades de agua de mar. Es de observar que estos álcalis se precipitan más fácilmente que el potasio cuando este elemento es precipitado, por esto desaparece del agua cuan-

do hay formación de minerales secundarios, como la glauconita y por lo mismo no es fácil encontrarlo en el agua de mar.

Talio.—No tengo noticias de que este elemento, que en su estado monovalente es muy semejante al potasio, se haya encontrado en el agua de mar o en sus residuos; pero se encuentra en las condiciones de los elementos anteriores.

Níquel y Cobalto.—La presencia de estos elementos no ha sido confirmada en las aguas marinas; pero sí se encuentra en las cenizas de algunas plantas. El Cobalto ha sido encontrado en las langostas en la proporción de 2 p.p.m. Sabemos que últimamente se ha descubierto en el hígado una sustancia cristalina a la que se le ha dado el nombre de vitamina B₁₂ en la que el cobalto entra como parte de su estructura atómica.

Plomo.—Ha sido encontrado en un coral por Forchhammer (*Pocillopora alcornis*) en la proporción de 2 p.p.m. Philips encontró 2.5 p.p.m. en el hígado seco de *Fasciolaria gigantea*.

Radio.—Este elemento es del mismo grupo que el bario y es uno de los hijos de los elementos radioactivos más estables como el torio y el uranio, por lo cual lo que se ha encontrado es radio-actividad debida a la destrucción de elementos inestables y por lo tanto se deduce de ellos la presencia de torio, uranio y protoactinio, con sus productos de degradación entre los cuales debemos contar al radio y al polonio y además el K⁴⁰ que se encuentra en la proporción de 1:8300 con el potasio ordinario; este elemento es radio-activo y da partículas "beta" tiene una media vida de 1.42×10^9 años y que por lo tanto su radio-actividad es pequeña, pero dada su abundancia en el océano, su influencia debe ser apreciable. Para la medida cuantitativa de la radioactividad se acostumbra expresarla en radio, es decir en el peso de radio puro que tuviera la misma radioactividad.

El cuadro siguiente tomado de la Oceanografía nos da una idea de la radioactividad en las aguas marinas en gramos por 10⁻¹² de radioequivalente:

investigador	Muestras	Máximo	Mínimo	Promedio
Strutt	1 salmarina			2.3
Eve	7 agua y sal	1.5	.47	.9
Joly	11 agua	4.1	1.15	2.64
Satterly	3 agua	1.6	.3	1.0
Mialock	20 sal	54.0	2.9	18.0
Howlett	15 sal	nada	nada	nada

Como se ve, los resultados de los diversos investigadores no son muy concordantes entre sí, lo que posiblemente es debido a las diferencias en los métodos y los dispositivos para estimarla; pero es indudable que ésta existe y se puede tomar en promedio como equivalente a 2.0×10^{-12} gr. de rario.

Tungsteno.—Este elemento no se ha encontrado en las aguas ni en los seres marinos; pero ha sido encontrado de manera indubitable, tanto que se está estudiando la manera de aprovecharlo industrialmente, en las salmueras del Lago Searles, California.

Antimonio, Estaño y Mercurio.—No se han encontrado en las aguas marinas, pero sí en algunas de las aguas minerales.

Otros elementos.—El que muchos de los elementos conocidos y que se encuentran en la litósfera, no se hayan encontrado en las aguas no quiere decir que no existan, pero será en cantidades muy pequeñas, pues forman compuestos tan poco solubles que sería necesario métodos muy especiales y cantidades muy grandes de agua para poderlos identificar.

Materia orgánica.—En el mar existen numerosos organismos vivos tanto vegetales como animales y los restos de los mismos cuando mueren; pero esto será más bien de la parte de la biósfera y en ella se discutirá este asunto.

Aguas saladas que no son directamente marinas.

En esta sección vamos a ocuparnos de las aguas que tienen una salinidad entre 20 y 100, aunque estrictamente nos debíamos de concretar a aquellas cuya salinidad no excede de 60. La razón de esto es que como veremos más adelante, las aguas conatas tienen una sa-

linidad generalmente mayor que las marinas y que evidentemente pertenecen a este tipo.

Las otras aguas saladas provienen de cuencas cerradas, en donde las aguas dulces se concentran por evaporación, y en el transcurso de los siglos llegan a alcanzar una salinidad suficiente para considerarlas dentro de este tipo. En muchas de las cuencas cerradas, su parte más baja está ocupada por una laguna, y con frecuencia éstas es de muy bajo fondo, por lo cual su salinidad varía entre amplios límites, pues durante la época de las lluvias y de las avenidas de los tributarios a la laguna su agua se llega a diluir al grado de clasificarse entre las aguas salobres; y durante la época de secas el agua no sólo llega a salada sino que pasando por el estado de salmuera, alcanza el de amargos y aun llega a secarse completamente dejando un depósito salido.

Algunos de los lagos salados son bastante grandes para que la influencia del tiempo de lluvias sólo afecte a las aguas superficiales y en este caso la salinidad no varía de manera notable a partir de cierta profundidad, que puede ser muy variable, pero que generalmente no pasa de unos cuantos metros.

Aguas que provienen de pozos o manantiales.

A continuación vamos a dar unos cuantos análisis de aguas de este tipo, que por lo general se tomaron de la obra de Clarke, tantas veces citada. El orden en que los vamos a presentar es según la clasificación decimal que se ha propuesto y basándose en los valores de reacción, como se ha dicho a propósito del diagrama triangular:

	1	2	3	4	5	6
Ca	6334	14982	4477	321	6286	4751
Mg	2417	14	921	7749	435	8220
Na	7487	2556	1886	6804	6599	18655
K	h	204	416	133	241	218
CO ₂	42	—	—	—	173	2963
SO ₄	—	—	—	43961	47	43578
Cl	29830	30744	13960	1588	22165	355
SiO ₂	—	—	—	30	54	262
	<hr/> 46300	<hr/> 48500	<hr/> 21660	<hr/> 60386	<hr/> 36000	<hr/> 62349

En por ciento de valores de reacción:

Ca	37.7	86.4	57.0	1.7	48.9	23.6
Mg	23.6	.2	19.3	67.0	5.5	67.1
Na	38.7	13.4	23.7	31.3	45.6	9.3
CO ₂	.1	0	0	0	.9	9.6
SO ₃	0	0	0	95.4	.2	89.4
Cl	99.9	100.0	100.0	4.6	98.9	1.0
Clasif.	04	14	24	27	34	97

- 1 Pozo en el molino de Bowerman, Whitby, Canadá.
- 2 Pozo sobre Kanab Creek cerca de Port Haney, Colombia Británica.
- 3 Agua de un pozo de 192 pies de profundidad en la isla de Malitoulin, Lago Hurón.
- 4 Manantial cerca de Denver, Colorado. Contiene 210 p.p.m. de CO₂ libre.
- 5 Agua de una mina en Silver Islet, Lago Superior.
- 6 Manantial amargo en Laa, Austria. Contiene Co₂ libre.

Estudiando estas aguas se ve que por lo general son muy ricas en calcio y pobres en carbónico; pero en el caso del agua 4 que tiene mucho sulfúrico, el calcio es bajo, lo que es debido a la poca solubilidad de yeso. En el caso del No. 6, tenemos alto calcio y también alto sulfúrico, pero eso corresponde con alto carbónico y también en la descripción de la muestra se dice que contienen CO₂ libre; la cantidad de CO₂ y de Ca contenida en esta agua es muy superior a la que puede contener en equilibrio con la atmósfera, por lo tanto esta agua debe depositar una gran parte de su calcio como carbonato del calcio y ser una agua incrustante.

En los aniones encontramos que dos de ellas son ricas en sulfato y el resto son ricas en cloruro, por lo cual estas aguas se puede decir que contienen una cantidad fuerte de cloruro de calcio, lo que no es normal en el proceso de concentración de las aguas dulces. Como veremos más claramente al tratar de las aguas conatas, el agua de mar que se queda aprisionada y que contiene un exceso de cloro sobre el necesario para formar cloruros de sodio y potasio y que además es rica en magnesio, este elemento obra a presión so-

bre la calcita de las calizas para formar dolomita, que tiene menor volumen que la cantidad equivalente de calcita, y de aquí que las aguas se enriquezcan en calcio a expensas del magnesio. El sulfúrico es bajo lo que se debe a la reducción de los sulfatos por la materia orgánica. En el caso presente éstas no son enteramente del tipo de las aguas conatas, sino que son mezclas de aguas conatas con soluciones concentradas contenidas dentro de las rocas.

El agua 4 es típicamente una solución rica en sulfatos de sodio y magnesio, que se formó en el interior de la litósfera, probablemente de un manto rico en estos sulfatos. El agua 6 es de este tipo, sólo que contiene mucho calcio disuelto en favor del CO₂, pero que éste será precipitado en cuanto se ponga en contacto y equilibrio con la atmósfera.

Continuamos con los ejemplos:

	7	8	9	10	11	12	13
Ca	0	20	15	0	7	23	0
Mg	0	51	7	120	h	268	0
Na	7224	19409	27502	7906	8826	29169	15406
K	376	949	1585	250	336	1164	564
CO ₂	6980	11984	17092	4349	4425	17203	8097
SO ₄	2449	6580	7234	2510	1929	99	744
Cl	1421	11944	18662	5687	6804	24706	14117
SiO ₂	50	71	211	178	31	8	243
Suma	18500	51170	72658	21000	22358	76942	39171

En por ciento de valores de reacción:

Ca.	0	.1	.1	0	.1	.1	0
Mg	0	.5	.1	2.7	0	1.6	0
Na	100.0	99.4	99.8	97.3	99.9	98.3	100.0
CO ₂	71.8	44.6	45.0	40.5	38.8	49.1	39.5
SO ₄	15.8	18.1	11.7	14.6	10.6	.1	2.3
Cl	12.4	37.3	43.3	44.9	50.6	50.8	58.2
Clas.	41	42	43	43	43	43	43

7 Black Lake, Mono County, California, cerca de Benton.

- 8 Mono Lake, California. Muestra tomada en 1882; tiene densidad de 1.045 y contiene además 146 de BO_2 .
- 9 Owens Lake, California. Densidad 1.062.
- 10 Lago Van de Armenia.
- 11 Lago Harney. Marzo 10 de 1912; densidad 1.0209.
- 12 Borax Lake, California. Contiene además: 4257 de BO_2 ; 15 de PO_4 ; 30 de Br.
- 13 Albert Lake, Oregón. Densidad 1.03117 a 19°C .

En estos análisis se nota una diferencia notable en el contenido en calcio y magnesio, sobre todo el primero, con respecto a los 6 primeros análisis. En aquellos encontramos que todos provienen de pozos profundos y que por lo menos en parte son de aguas conatas; en tanto que estos últimos todos provienen de lagunas más o menos profundas en donde las sales se han concentrado por evaporación de aguas dulces.

Lo que salta a la vista es la pequeña cantidad de calcio que se encuentra en estas aguas y observaremos que la cantidad de carbónico es también grande; en estas aguas se encuentra invariablemente una cantidad de CO_2 en exceso notable sobre la que se requiere para formar carbonatos normales; pero inferior a la que se necesita para formar bicarbonatos con los metales alcalinos y tiene siempre un pH superior a 7 y aún a 8, condiciones en que el carbonato de calcio es prácticamente insoluble.

El magnesio sigue aproximadamente la misma ley, pero el radical MgOH queda en solución en aguas de un pH mayor que en las condiciones en que el calcio ya no se mantendría y por lo tanto el magnesio puede ser más abundante que el calcio en este tipo de aguas, cosa que es contrario a lo que pasa en las aguas estrictamente dulces y aún en las salobres.

Los metales alcalinos son los preponderantes y están representados por cerca del 100% del total de los cationes. El sodio es siempre preponderante; en los siete ejemplos anteriores encontramos la relación Na:K entre 31.6 como máximo y 17.3 mínimo, con un promedio de 22.1. Los metales alcalinos forman sales muy solubles y por lo tanto se concentran fácilmente, en tanto que los otros elementos son precipitados en soluciones de pH mayor de 7.

Con respecto a los aniones encontramos que el carbónico está

siempre presente en estas aguas y en todos los ejemplos forma más de la tercera parte del total de los valores de reacción. En las aguas dulces que provienen de rocas ígneas y sobre todo en el caso que se trate de rocas neovolcánicas, la cantidad de CO_2 tiene un valor de reacción mayor que el equivalente del calcio y el magnesio, por lo cual estos elementos se precipitan arrastrando consigo la cantidad equivalente de CO_2 , el resto se concentra con los álcilis, pues ninguna de sus sales simples es insoluble en la concentración de las aguas que estamos tratando aquí.

El sulfúrico se encuentra en cantidades subordinadas y en el caso de los ejemplos 12 y 13 en cantidades realmente pequeñas. Las rocas volcánicas contienen, por lo general, muy pocos sulfuros y por lo tanto los sulfatos en las aguas que provienen de ellas se encuentran en cantidades muy pequeñas, con frecuencia menores que la cantidad de cloro; al concentrarse el cloro y el sulfúrico permanecen en una relación constante hasta llegar a un límite que está marcado por la solubilidad del yeso; pero si hay mucho carbónico, el calcio no puede llegar a este valor. En algunos casos como bien pudo suceder en los casos de los ejemplos 12 y 13, el sulfúrico pudo haber desaparecido bajo la influencia de los organismos, en el caso del agua 12 se dice que ésta tenía 4.5% de materia orgánica y muchas de ellas son sulfurosas, es decir que contienen H_2S que invariablemente proviene de la reducción de los sulfatos y su azufre es fijado por el hierro bajo la forma de pirita, y de aquí que queden o salgan aguas muy bajas en sulfatos.

El cloro, que en su mayor parte proviene del agua de lluvia y que por lo tanto es cíclico, es decir: que vino del mar y regresa al mar, tiende siempre a concentrarse pues no hay cloruro insoluble en las condiciones de dilución de las aguas de que nos estamos ocupando. En las aguas marinas tenemos como acompañante del cloro al bromo y éste se encuentra en todas o casi todas las aguas continentales, casi en la misma proporción, aunque muchas veces no se determina especialmente. En los siete ejemplos anteriores sólo en el N° 12 se ha determinado este elemento en la proporción de 30 p.p.m. contra 24706 de Cl, lo que da una relación de 0.00123; que ciertamente es menor pero del mismo orden que la que se ha encontrado para el agua de mar, que es 0.00337.

El silicio siempre está presente en estas aguas, pero en cantidades pequeñas, que con respecto al total de las sales vienen a ser insignificantes y por lo general no se determina.

En las aguas de este tipo se encuentra boro que ha sido determinado en dos de estas muestras. Mi experiencia personal, que en estas aguas el boro está invariablemente presente, en cantidades pequeñas, pero muy de tenerse en cuenta. Lo que pasa es que siendo los boratos sales de un ácido de un pH bastante alto, al determinar la alcalinidad los boratos entran dentro de esta cifra y se informan como carbonatos. En uno de los análisis se indica una pequeña cantidad de fosfatos; este radical también está siempre presente, pero en cantidades pequeñísimas y pasa lo mismo que con el borax, que siendo tribásico el fosfórico y el primer hidrógeno tiene un pH superior a 7, su contenido en las aguas entra dentro de la alcalinidad. Por mi experiencia personal este radical entra en la proporción de 1 a 3 por 10,000 partes de sales totales.

En estas aguas siempre se encuentran nitratos, en cantidades del mismo orden o un poco mayores que los fosfatos, pero por lo general no se determina, y siendo un ácido fuerte no se manifiesta en las otras determinaciones y en los análisis se incluye en el error del sodio.

Vamos a continuar con los ejemplos y para ello presentamos otra serie de siete análisis de aguas.

	14	15	16	17	18	19	20
Ca	h	8	190	180	87	228	1550
Mg	h	h	1931	3190	8	137	1030
Na.	11470	32817	16547	18010	19000	7110	18624
K	500	91	902	650	174	2188	378
CO ₃	6155	14610	4738	6125	4000	2308	961
SO	564	1226	5540	5425	4480	—	2391
Cl	10711	33779	21966	26530	21150	11021	32009
SiO ₂	107	332	158	—	—	90	206
Suma	29507	82863	52500	60566	49125	23082	57149

En por ciento de valores de reacción:

Ca	0	0	1.0	.9	.5	2.9	7.9
Mg	0	0	17.4	24.5	h	2.9	8.6
Na	100.0	100.0	81.6	74.6	99.5	94.2	83.5
CO ₂	39.5	33.3	18.3	19.5	16.7	19.8	3.3
SO ₄	2.3	1.7	12.8	10.6	11.3	0	5.0
Cl	58.2	65.0	68.9	69.9	72.0	80.2	91.7
Clas.	43	43	44	44	44	44	44

- 14 Abert Lake, Oregón. Febrero de 1912.
- 15 Laguna de Lonar, distrito de Berar, Provincias Centrales de la India. Contiene boratos.
- 16 San Antonio Texcala, Tehuacán, Pue. Aguas de un pequeño manantial, estas aguas se aprovechan para hacer sal. Densidad 1.0434. Contiene además: Br 148; BO₂ 285; PO₄ 95.
- 17 Manantial de Alpozongo, Tehuacán Pue. Contiene además: Br 188; BO₂ 207; PO₄ 61. Densidad 1.0492.
- 18 Salinas de San Antonio Texcala, Tehuacán, Pue. Muestra tomada como por 1906, mientras que la 16 fué recogida por el año de 1949.
- 19 Magdalena Tetitac, Oax.
- 20 Pozo salado de Humbolt, Minnesota.

En estos ejemplos vemos que los análisis 14 y 15 son continuación de los informados en el cuadro anterior y en el caso de los análisis 13 y 14 que son del mismo lago, se nota que la composición del residuo salino es la misma y que sólo varía la concentración. El resto de las aguas, que se han clasificado como 44, están caracterizadas por un incremento en la cantidad de Cl, con lo cual viene una reducción relativa en la cantidad de CO₂; el sulfúrico queda como en los casos anteriores. Es de notarse el caso del análisis 19, por su alto contenido en potasio, y la relación Na:K igual a 3.25 que es anormalmente alta y en esta agua también se nota que los sulfatos han sido muy bajos y no cuanteados. El boletín del Instituto Geológico de donde fue tomado este análisis no da datos sobre las condiciones de yacimiento. Si el análisis está bien hecho, indica que en esa región pudiera encontrarse un yacimiento de po-

tasio. En el resto de los ejemplos, la relación es muy semejante a la que se ha encontrado anteriormente; pero hay una marcada tendencia a que esta relación se aumenta, con el aumento en cloro.

Sólo en dos casos se ha determinado bromo y la relación encontrada es mayor que la del agua de mar; pero no muy diferente, lo que en parte puede explicarse por deficiencia en los métodos de análisis. La misma observación que en el caso anterior se puede hacer con respecto al bórico; pero éste guarda una relación, aunque lejos de ser constante con el carbónico.

Continuaremos con otros ejemplos:

	21	22	23	24	25	26	27
Ca	332	357	1141	198	839	56	226
Mg.	87	1430	93	1304	259	861	125 ³
Na.	10909	27591	7081	24651	33220	5938	18427
K	127	225	876	1191	—	211	—
CO ₂	322	179	142	h	—	324	157
SO ₄	37	2704	219	475	—	7313	21544
Cl	17716	45198	13703	42902	53544	6170	16396
SiO ₂	9	—	47	7	—	8	23
Suma	29756	77692	23302	70855	87862	20881	58026

En por ciento de valores de reacción:

Ca	3.3	1.3	13.3	.8	2.8	.8	1.2
Mg	1.4	8.7	2.0	8.8	1.4	21.0	11.3
Na	95.3	90.0	84.7	90.4	95.8	78.2	87.5
CO ₂	3.1	.5	1.2	0	0	3.2	.6
SO ₄	.1	2.7	1.2	.8	0	45.2	49.0
Cl	96.8	96.8	97.6	99.2	100.0	51.6	50.4
Clas.	44	44	44	44	44	45	45

21 De Arva-Polhors, Hungría. Contiene además: Sr 102; Ba 24; Li 66; Fe⁷ 42; Br 112; I 42; PO₄ 6.

22 Lago salado cerca de Shiraz, Persia. Br 8.

23 Fuene termal de Utah, 8 millas al norte de Ogden. El agua sale a una temperatura de 55°C.

- 24 Lago de Tekir-Ghiol, Rumanía. Este lago tiene una extensión de unas 1140 Has. y está sólo a 300 ó 400 metros del Mar Negro. Contiene 127 p.p.m. de Br.
- 25 Pozo de Bryant en Bistineau, Luisiana. El agua proviene de formaciones calizas.
- 26 Lago Tagar de Yeniseisk, Siberia, Rusia.
- 27 De Lacu Sarat, Rumanía. Se dice que durante el invierno se cristaliza sulfato de sodio bajo la forma de mirabilita.

En este otro conjunto de análisis se nota que los cinco primeros pertenecen a la clasificación 44, que darán por evaporación cloruro de sodio y son bajos a muy bajos en sulfatos, esto es debido a que provienen de sedimentos que anteriormente han contenido cloruro de sodio. En los ejemplos 22 y 24 se nota un gran parecido con las aguas marinas y provienen de lagunas cercanas al mar. Las dos últimas aguas son ricas en sulfatos y que siendo bastante concentradas la proporción de calcio debe ser pequeña, en cambio en estas aguas el magnesio puede estar presente en cantidades grandes, aunque por lo general subordinadas a la de los álcalis.

Por último vamos a poner otros cinco ejemplos de aguas de esta concentración, para que se vea la variación en composición que podemos esperar.

	28	29	30	31	32
Ca	88	h	500	4751	h
Mg	752	265	306	8220	11
Na	18750	8367	22765	18655	11166
K	814	h	807	218	—
CO ₃	903	420	448	2963	8520
SO ₄	25860	16888	49533	43578	4636
Cl	11815	1360	359	355	3744
SiO ₂	18	h	15	262	118
Suma	59000	27300	74733	62349	28195

	En por ciento de valores de reacción.				
Ca	.5	0	2.4	23.6	0
Mg	6.9	5.7	2.4	67.1	.2
Na	92.6	94.3	95.2	9.3	99.8
CO ₂	3.4	3.5	1.4	9.6	58.4
SO ₄	59.7	87.3	97.7	89.4	19.8
Cl	36.9	9.2	.9	1.0	21.8
Clas.	46	47	47	77	49

- 28 Lago Amargo de Yeniseisk, Siberia, Rusia.
 29 Lago Old Wives o Chaplin de Canadá.
 30 Pozo de Abilena, 14 millas al noroeste de Abilena, Kansas. Este pozo tiene 130 pies de profundidad y contiene además NO₃ 4 y Fe 3.2 p.p.m.
 31 Manantial salado de Laa, Austria. Contiene CO₂ libre y 137 p.p.m. de NH₄.
 32 Soap Lake, Washington.

Las cuatro primeras muestras son muy ricas en sulfato de sodio. En el caso de las aguas de pozo de Abilena, N° 30, éste proviene de un manto que contiene mirabilita, pues casi es una solución saturada de esta sal. En el ejemplo 32 encontramos un agua que es rica en sulfatos y carbonatos, combinación poco frecuente, pues las primeras provienen de zonas calcáreas y las segundas de volcánicas, pero por mezcla de ambas se puede tener un tipo de esta agua salada.

En este grupo caen las aguas conatas, que son aquellas que se quedaron aprisionados entre los granos de material clásico en el momento de la formación de la roca y que posteriormente nunca han llegado arriba del nivel de base y que por lo mismo no han podido emigrar a otras rocas. En este caso se encuentran las aguas contenidas en formaciones marinas profundas que nunca han estado arriba del nivel del mar.

Parecería que por el estudio de estas aguas llegaríamos a conocer la composición de los mares antiguos, pero esto no es cierto, pues si bien es cierto que el agua en conjunto no se ha movido, ha sufrido algunas modificaciones en su quimismo. En primer lugar, a medida que el tiempo pasa, la presión sobre una formación dada aumenta por los nuevos depósitos que se forman arriba de ella y por lo tanto la roca tiende a consolidarse, disminuyendo su porosidad;

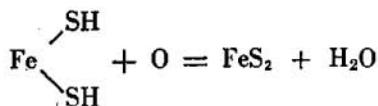
en estas condiciones el agua emigra, pero se ha observado que cuando una agua emigra de una formación porosa, el agua pura tiende a escurrirse más rápidamente que las sales disueltas y por lo tanto la salinidad tiende a aumentar, por otra los diferentes iones emigran de diversa manera, por lo cual debe haber una variación en la concentración de las sales, es decir en la salinidad y también en la composición.

Hay además otros factores que influyen en la variación de la composición y en particular podemos señalar tres. El primero es que los sulfatos en presencia de materia orgánica y en ausencia de oxígeno son reducidos a sulfuros, bajo la influencia de organismos apropiados. Que esta reacción es posible, termodinámicamente nos lo demuestra que la reacción:



es exotérmica. Por lo tanto los sulfatos se reducen a sulfuros y gas carbónico el cual en presencia del agua forma ácido carbónico el que a su vez obra sobre el sulfuro soluble formado con desprendimiento de hidrógeno sulfurado:

El hidrógeno sulfurado a su vez se desprende; por esto es tan frecuente encontrar las aguas sulfurosas y que estas aguas contengan, si no invariablemente, por lo menos, en la mayoría de los casos este gas. Pero hay otra reacción que es más frecuente y que consiste en la formación de pirita mineral que es tan común en las rocas de profundidad. La pirita no se forma directamente sino por intermedio de hidrotroilita, que es un sulfhidrato ferroso de color azul y que es muy frecuente en los lodos de las rocas que provienen de profundidad. Este mineral en presencia de una pequeñísima cantidad de oxígeno que aun lo puede dar el hidrato férrico se transforma en pirita:

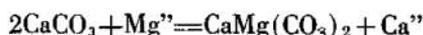


hidrotroilita pirita

y de esta manera el azufre queda fijo en las rocas. Hay otra alternativa y es que el hidrógeno sulfurado en presencia de oxígeno da

agua y azufre elemento, reacción que se verifica con toda facilidad en el laboratorio. En los mantos de anhidrita y sal es muy común encontrar azufre nativo y que evidentemente tiene este origen. Por lo tanto hay que esperar que en estas aguas el sulfúrico esté en proporción muy inferior con respecto al cloro de como se encontraba en las aguas primitivas.

El magnesio que en las aguas marinas está muy por encima del calcio, en estas aguas está generalmente en cantidades muy inferiores y aun llega a desaparecer completamente. La razón de esto estriba en la formación de dolomita a partir de calcita



por la que se ve que el magnesio del agua de mar es reemplazado por una cantidad equivalente de calcio.

Esta modificación está acompañada por una disminución de volumen y por lo tanto un aumento en la presión tiende a cambiar la calcita en dolomita en presencia de soluciones magnesianas. Si tomamos el peso formal de 2CaCO_3 para la calcita y su densidad de 2.713, su volumen formal será 73.72; si hacemos la misma operación para la dolomita (CaMgC_2O_6) encontramos: peso formal 184 y volumen de 63.82, suponiendo una densidad de 2.883 para la dolomita, lo que da una disminución de 9.9 volúmenes para la cantidad de calcita tomada o sea un disminución de 13% proximadamente.

Estas son las variaciones más importantes que se encuentran entre las aguas marinas y las conatas; entre los elementos que se encuentran en cantidades pequeñas, la variación más importante y que por su importancia económica ha sido estudiada con más cuidado, se encuentra en el iodo. Este elemento está normalmente presente en las aguas de mar en la proporción de 0.1 a 0.05 p.p.m. y en las aguas conatas se encuentra en proporciones de varias partes por millón y aun hasta de 100 o más en casos extremos. Este aumento se supone que es debido a fenómenos bioquímicos, pues las plantas y los animales marinos contienen proteídos del tipo de la tiroidina en la que es bien sabido el iodo entra en su composición. Hay que recordar que el iodo fué encontrado y hasta hace poco sólo se extraía de las cenizas de algunas algas marinas. Estos organismos al morir dejan su sustancia la cual es descompuesta por otros orga-

nismos y destruída en mayor o menor grado, con lo que resulta una concentración variable en el iodo, según la cantidad de materia orgánica primitiva, su grado de destrucción y su contenido original en iodo.

A continuación vamos a dar los resultados de varios análisis de aguas de pozo de petróleo y una de un material, que por sus características es idéntica con las primeras.

	1	2	3	4	5	6
Ca	2305	15680	6716	10011	5330	880
Mg	390	1864	489	1048	506	12
Na	2295	25443	11353	18170	18616	2886
K	nd	nd	nd	nd	nd	136
CO ₃	114	25	114	114	114	122
SO ₄	670	647	665	290	599	170
Cl	8142	72356	30242	48529	39092	5583
Suma	13916	116195	49579	78162	64257	9789

En porciento de valores de reacción.

Ca	46.6	38.6	38.6	36.3	23.8	25.3
Mg	13.0	7.5	4.6	6.3	3.7	.6
Na	40.4	53.9	56.8	57.4	72.5	74.1
CO ₃	1.5	.4	.4	.3	.3	2.5
SO ₄	5.7	.6	1.6	.4	1.1	2.1
Cl	92.8	99.4	98.0	99.3	98.6	95.4
Clas.	24	34	34	34	44	44

- Poza Rica 74 a 2152-5 metros el 14 de septiembre de 1948.
- Poza Rica 59 a 2308-15 metros el 17 de enero de 1948.
- Poza Rica 87 a 2318-23 metros el 10 de octubre de 1948.
- Poza Rica 84 a 1650 metros.
- Mecatepec 11 a 2268-81 metros el 20 de agosto de 1948.
- Agua del tanque 123 de Poza Rica, el 14 de diciembre de 1949.
Densidad (o) 4.58; extracto directo 9427. Iodo 5. Analista Berta Alvarez.

Los análisis están ordenados por la proporción relativa de sodio, en orden creciente. Vemos que en este cuadro sólo encontramos análisis de las aguas de Poza Rica y una de Mecatepec. El calcio es

bastante importante, en cambio el magnesio ocupa un lugar bastante bajo sobre todo en el ejemplo 6. De los aniones, el cloro es casi el único que se encuentra; los otros dos están en proporciones muy pequeñas. El potasio sólo ha sido determinado en un ejemplo, pero esto no quiere decir que no exista, pues si éste se busca invariablemente existe y su proporción con respecto a sodio es probablemente ligeramente superior a la que se encuentra en las aguas de mar; me baso para ésto en el hecho de que el sodio se difunde con más facilidad que el potasio, pero no tenemos datos suficientes para discutir este punto. Sólo en un caso se da determinado el yodo.

	7	8	9	10	11	12
Ca	3903	4095	467	3820	2106	552
Mg	90	337	50	635	0	291
Na	13403	16893	2962	29191	16194	9413
K	490	nd	787	3794	nd	nd
CO ₃	178	76	128	680	75	228
SO ₄	270	683	208	0	194	8
Cl	27878	33734	5375	56600	29371	16100
Suma	46212	55818	9977	94720	47940	26592

En porciento de valores de reacción.

Ca	24.5	21.2	13.6	11.9	13.0	6.0
Mg	.9	2.9	2.4	3.2	0	5.2
Na	74.6	75.9	84.0	84.9	87.0	88.8
CO ₃	.7	.3	2.6	1.4	.3	1.6
SO ₄	.7	1.5	2.7	0	.5	h
Cl	98.6	98.2	94.7	98.6	99.2	98.4
Clas.	44	44	44	44	44	44

- 7 Tanque 123 de Poza Rica. Densidad 36.27, extracto directo 46361, iodo 26. Analista Berta Alvarez.
- 8 Poza Rica 85, 2308-15 metros el 18 de enero de 1948.
- 9 Cerro Azul. Densidad 7.54; extracto 9820, iodo 3. Analista Berta Alvarez.
- 10 Manantial en el K-63 del ferrocarril de San Andrés Tuxtla a Rodríguez Clara, Ver. y que forma el nacimiento del Arroyo Sa-

lado. Colector Xavier Meneses, analista Berta Alvarez. Densidad 66.2, extracto directo 95840; iodo 66.

- 11 Reynosa 1. Densidad 35.26, extracto directo 48528 iodo 16. Analista Berta Alvarez.
- 12 Sinal Hill y Los Cerritos, California, el 25 de junio de 1948. Iodo 35.

Por los análisis, se ve cómo se agrupan las aguas de Poza Rica. Y en todos los casos se observa lo que anteriormente se ha dicho con respecto a la variación entre los principales radicales.

	13	14	15	16
Ca	1627	624	351	154
Mg	210	255	211	42
Na	16355	10800	9407	9000
K	12	nd	nd	nd
CO ₃	804	401	393	1077
SO ₄	408	25	5	25
Cl	26955	18069	15200	12970
Suma	46371	30174	25567	23268

En por ciento de iones.

Ca	10.2	6.0	4.0	1.9
Mg	.3	4.0	3.9	.9
Na	89.5	90.0	92.1	97.2
CO ₃	3.4	2.6	3.0	8.9
SO ₄	1.1	h	h	.1
Cl	95.5	97.4	97.0	91.00
Clas.	44	44	44	44

- 13 Pozo Moralillo. Densidad 39.57; extracto 46450, iodo 21. Analista Berta Alvarez.
- 14 Union Oil Co., 7 de junio de 1949. Contiene 75 de iodo.
- 15 Smith Emery Co. de 29 de noviembre de 1948. Contiene 50 de iodo.
- 16 Union Oil Co., 25 de mayo de 1949. Contiene 70 de iodo.

Los análisis anteriores están tomados: unos de un artículo sobre la industria del iodo en Industrial and Engineering Chemistry, Volumen 41 (1949) p. 1547-52. y que son los 12, 14, 15 y 16. Los ana-

lizados por Berta Alvarez fueron hechos bajo la dirección del que escribe en el Laboratorio de Petrografía de Petróleos Mexicanos y el resto de datos suministrado por la Gerencia de Explotación de Petróleos Mexicanos.

En estos 5 últimos análisis se encuentra que el calcio es bastante bajo y el carbónico relativamente alto lo que ha probado una precipitación del calcio bajo la forma de carbonato; el magnesio es invariablemente más bajo que el calcio.

Desde el punto de vista industrial, lo más importante en estas aguas es el iodo, del cual nos vamos a ocupar un poco. Para detalles del procedimiento de extracción que usa la Dow Chemical Company en California, consúltese el artículo citado anteriormente.

Los resultados de los cationes se han colocado en el diagrama triangular para hacer más patentes las relaciones entre las aguas que hemos presentado como ejemplos y también se ha puesto el agua de mar normal. Solo se ha dibujado la parte del diagrama que nos interesa con lo que se puede hacer el dibujo a mayor escala.

Vemos que las aguas se agrupan en ciertos puntos y aquí vemos en el campo 2 y cercano al 3 una sola agua que es de Poza Rica. En el campo 4 hay un grupito formado por cuatro aguas (5, 8, 6 y 7) que también son de Poza Rica tres y una de Mecatepec. Otro grupo de cuatro y que están bastante juntas (9, 10, 11 y 13) que son aguas mexicanas de varias procedencias. Por último las aguas de California se agrupan en una línea y son las que tiene casi igual calcio que magnesio.

Si se comparan estas aguas con las marinas que están marcadas M, se ve que las aguas de los pozos son invariablemente menos magnesianas que las de mar y que por lo general, con excepción de dos aguas de California, contienen mucho más calcio.

No se creyó necesario hacer el diagrama de los aniones ya que todos caen dentro del campo 4 y dentro del pequeño triángulo marcado por la línea puntuada.

La Señorita Alvarez ha encontrado las cantidades siguientes en las muestras que ella ha estudiado.

Ejemplo	I en p.p.m.
6	5
7	26
9	3
10	66
11	16

en el artículo mencionando se citan como ejemplos de aguas industrializables las siguientes:

Ejemplo	I en p.p.m.
12	35
14	75
15	50
16	70

como puede verse el contenido en yodo de las aguas que trata la Dow Chemical es mayor que el de las aguas mexicanas, con excepción de la No. 10: pero esto no es de importancia pues sólo hemos investigado las posibilidades de unas cuantas aguas. En el artículo citado vienen otros ejemplos de aguas en las que se ha determinado la cantidad de yodo y con:

Localidad	I en p.p.m.
Signal Hill	50
Seal Beach	85
Alamitos Heights	65
Venice a los 4000 pies	135
Venice a los 6000 pies	10
Manantial de Santa Fé	12

Como se ve el contenido en yodo es muy variable y hay que seleccionar las aguas que deben tratarse.

Kazuo Kuroda ha hecho determinaciones sobre el contenido en cloro, bromo y yodo en las aguas de algunos pozos de gas en la Provincia de Tiba en Japón. Con los resultados siguientes:

Localidad	Cl gramos/litro	Br mg/l	I mg/l
Nanaido R7	16.39	26	75
Nanaido R17	10.13	24	40
Nanaido R27	14.54	24	57

Nanaido R37	16.61	49	93
Nanaido R47	18.35	61	100
Nanaido 67	14.21	21	48
Nanaido 77	13.19	49	80
Nanaido 97	16.05	46	80
Mohara R24	3.655	<5	11
Mohara 35	3.085	<5	5
Mohara R36	11.75	31	46
Mohara 43	1.727	<5	<5
Mohara 47	2.546	<5	17
Mohara 52	2.231	<5	5
Mohara R59	7.906	25	49
Hayano 3	2.179	<5	<5
Kikuyanoyu	1.248	<5	<5
Agua del mar de la Costa de Kuayukuri	17.02	67	<5
Idem según Battenberg	18.97	65	<0.5

Comparando la cantidad de bromo en estas aguas con la que contiene el agua de mar, o mejor la relación bromo a la cloruración se encuentra que es del mismo orden que se encuentra en el agua de mar; pero si se estudia esta relación con respecto al yodo se encuentra que el yodo está mucho más concentrado en las aguas conatas que en el agua marina, y esta relación de concentración con frecuencia excede de un millar.

Clarke como *apéndice determina la edad del océano por medio de la relación entre el cloro que anualmente aportan los ríos al mar y la cantidad de cloro que actualmente se encuentra en los océanos.* En el libro de Clarke, página 115, estima que la cantidad de sustancias disueltas con que los continentes contribuyen al mar es de 1914 millones de toneladas y que en éstas el cloro forma el 5.68% de manera que cada año llegan al mar 108.7 toneladas de cloro. Según los datos presentados en páginas anteriores, el peso del mar se ha estimado en 1.319×10^{18} toneladas, suponiendo una cloruración media de 19 resulta 0.27699×10^{18} toneladas de cloro o sean 27699×10^7 millones de toneladas, dividiendo este número por el de toneladas de cloro, que traen

los ríos encontramos el número 254.795×10^7 años o en números redondos 2500 millones de años.

Este estimado no me parece correcto, pues como lo veremos más adelante, la mayor parte del cloro que traen los ríos es cíclico y por lo tanto el resultado es muy bajo.

Si en vez de tomar el cloro se toma el sodio como lo hace Clarke, se llega a la cifra de 89,222,900, o sean unos 89 millones de años, que es mucho menor que la encontrada antes, pero por otra parte sí es mucho menor que la encontrada antes, la razón de esta discrepancia es que el sodio en gran parte es cíclico, pero por otra parte sí proviene realmente de la descomposición de las rocas.

Son tantos y tan complejos los cambios que se verifican en las aguas, que me parece que los estimados de edad por este medio son completamente ilusorios.

Vamos a calcular la cantidad de sales que actualmente existen en el mar y las vamos a calcular en combinaciones hipotéticas, tomando las sales que extraeríamos de ellas si se siguieran los métodos adecuados y en orden creciente de abundancia serían:

KBr	.28 %
CaCO ₃	.65 "
KCl	1.90 "
CaSO ₄	3.62 "
MgSO ₄	6.91 "
MgCl ₂	8.99 "
NaCl	77.65 "
	100.00 %

Con los datos anteriores y suponiendo una salinidad media de 35 el peso de las sales oceánicas sería del orden de 46×10^{15} toneladas. Vamos a calcular el peso y volumen de estas sales y luego supondremos que estas se extendieran sobre la superficie de la tierra y calcularemos el espesor resultante, tomando como base que la superficie total del globo es de 510 millones de Km cuadrados o sea de 0.51×10^{15} metros cuadrados. El peso del sulfato de calcio se repre-

senta anhidro, pero para el cálculo del volúmen lo hemos calculado como yeso y su peso es 2.1060. Los pesos estan en 10^{15} toneladas, y se representa por p, los volúmenes en 10^{15} metros cúbicos y se representa por v; d es la densidad de la sustancia y e el espesor de la capa en centímetros y con esto tendremos:

Sustancia	p	d	v	e
KBr	.1288	2.75	.0468	9
CaCO ₃	.2990	2.71	.1103	22
KCl	.8740	1.98	.4414	87
CaSO ₄	1.6652	2.32	.9077	178
MgSO ₄	3.1786	2.66	1.1950	234
MgCl ₂	4.1354	2.32	1.7825	354
NaCl	35.7190	2.165	16.0003	3136
Suma	46.000		20.4840	4020

