

# Capítulo 1

## PARTE 1/4

### 1.1 EL HOMBRE COMO SISTEMA FISICOQUIMICO

En las ciencias morfológicas, como la histología y la anatomía, los estudiantes reciben una instrucción basada, fundamentalmente, en la descripción de las formas, características y relaciones entre los órganos y tejidos, En FISILOGIA deberán aprender cómo, por qué, de qué manera esos órganos **funcionan**. Deberán llegar a comprender los mecanismos por los cuales el hombre camina, piensa, se emociona, se reproduce. También deberán aprender cómo reaccionan los tejidos, los órganos y el hombre en su totalidad, frente a cambios en el medio exterior y en el medio que rodea sus células. Deberá comprender, en última instancia, cómo y por qué el hombre VIVE.

Para poder aproximarnos a algo tan complejo es conveniente utilizar un modelo simple, basado en dos conceptos elementales:

a) El hombre está compuesto, en un 60-65%, por AGUA y, desde el punto de vista fisicoquímico, puede ser considerado una solución cuyo SOLVENTE es agua y cuyos SOLUTOS son las proteínas, la glucosa, la urea, el sodio, el cloruro, el potasio, etc., disueltos en ella. No interesa, a los fines de este modelo, que el tejido óseo tenga sólo 22 % de agua o que la piel tenga 72% de agua: el CUERPO de un adulto tiene agua en una proporción igual al 60-65% de su peso corporal.

b) El hombre es una máquina capaz de transformar una forma de energía en otra. Así, toma la energía química almacenada en los alimentos y la utiliza para producir CALOR y TRABAJO. Habrá gasto de energía cuando el hombre realice una contracción muscular, cuando respire, cuando su sangre circule, cuando estudie o digiera sus alimentos. También se gastará energía cuando se deba mantener una diferencia de concentración de un ion, por ejemplo, entre los dos lados de una membrana celular. Se liberará calor siempre que se realice un trabajo y también para mantener una temperatura corporal diferente a la del medio exterior.

INDICE – Parte 1	Pág
<b>1.1 EL HOMBRE COMO SISTEMA FISICOQUIMICO</b>	<b>1</b>
<b>1.2 EL AGUA CORPORAL TOTAL</b>	<b>2</b>
- Los indicadores y el método de dilución	<b>3</b>
- Influencia de la edad y el sexo en el agua corporal total	<b>4</b>
<b>1.3 LOS COMPARTIMIENTOS EXTRA E INTRACELULARES</b>	<b>5</b>
<b>1.4 ENTRADAS Y SALIDAS DE LOS COMPARTIMIENTOS CELULARES</b>	<b>7</b>
- Distribución de las sustancias entre los compartimientos	<b>9</b>
<b>1.5 COMPOSICION DE LOS COMPARTIMIENTOS CORPORALES</b>	<b>10</b>
- Dispersiones de sólidos en agua	<b>10</b>
- Masa y concentración	<b>11</b>
<b>1.6 CANTIDAD DE SUSTANCIA Y SOLUCIONES MOLARES</b>	<b>14</b>
- Soluciones molares	<b>17</b>

## 1.2 AGUA CORPORAL TOTAL

Reducido, de este modo, el hombre a un sistema simple, hay que precisar sus límites: decir lo que es **adentro** y lo que es **afuera**. En la Fig. 1.1 el hombre está representado por su COMPARTIMIENTO CORPORAL, que está separado del exterior por EPITELIOS. Así, la mucosa del tracto digestivo, la del aparato respiratorio y la del sistema renal son los **límites** del compartimiento corporal. Es a través estos epitelios que el hombre intercambia agua, sales, oxígeno, dióxido de carbono, calor, glucosa y todo lo que necesita para la vida.

Una persona puede **tragar** algo, pero esto seguirá estando "afuera" hasta que no haya pasado el epitelio intestinal y se encuentre "adentro", en el interior del compartimiento corporal. Del mismo modo, la orina está fuera del compartimiento corporal desde el mismo momento que sale del extremo distal de los túbulos colectores renales, aun cuando después se almacene en la vejiga.

En un hombre de 70 kg se puede decir que su **compartimiento corporal** está compuesto por 42 litros de agua y 26 kg de solutos. Para decir esto hemos considerado que el 60% del peso corporal es agua y que 1 kg de agua es igual a 1 litro de agua. Entonces, el AGUA CORPORAL TOTAL es:

$$70 \text{ kg} \cdot 0,6 = 42 \text{ kg} = 42 \text{ litros de agua.}$$

De los solutos, las proteínas representan el 16% del peso corporal, las sustancias minerales el 7% y las grasas el 15%.

### - **Peso húmedo / peso seco y agua corporal total**

Si alguien desea saber el contenido de agua de un trozo de hígado, por ejemplo, lo que deberá hacer es pesarlo en una balanza inmediatamente después de extraído (PESO HÚMEDO) y colocarlo luego en una estufa para evaporar el agua que está contenida en él. Cuando el peso del tejido alcanza un valor constante, se considera que se ha llegado al PESO SECO. La relación:

$$[1 - (\text{peso seco}/\text{peso húmedo})] \cdot 100$$

le dará el porcentaje de agua.

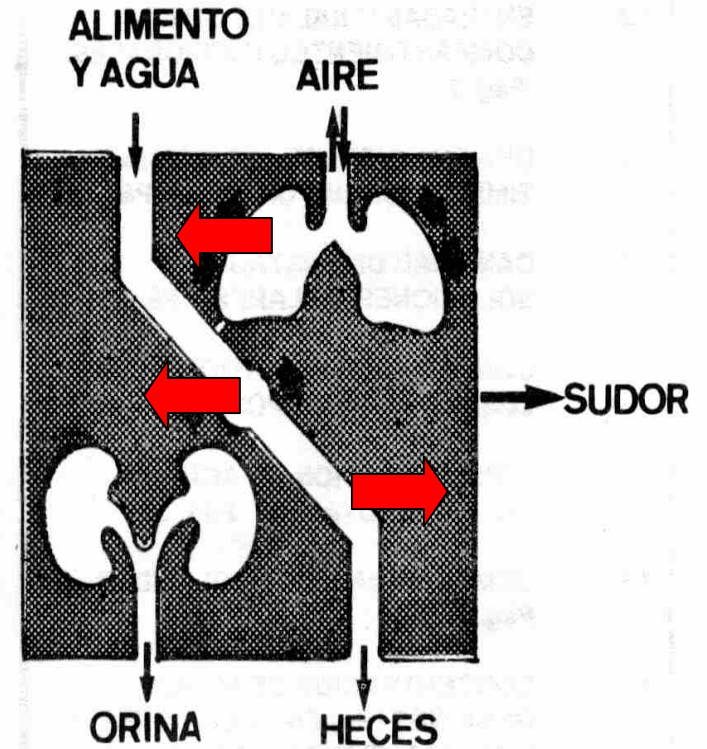


FIG. 1.1 REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL ESPACIO CORPORAL CON SUS LIMITES EPITELIALES

### - Los indicadores y el método de dilución

El procedimiento de secado en una estufa para medir el agua corporal total es algo que se puede intentar, también, en animales de experimentación pequeños pero que, sin duda, por ser un método destructivo, no tiene ninguna posibilidad de ser aplicado en un ser vivo. Para el hombre, la cifra que hemos usado de 60-65% del peso corporal como agua, proviene de un procedimiento que se puede utilizar *in vivo*: la técnica de dilución de un INDICADOR.

Si se quiere conocer el volumen de agua contenido en el recipiente de la Fig. 1.2, bastará agregar una cierta cantidad, o masa conocida, de algún colorante, por ejemplo. Como se comprende, el color que alcance la solución dependerá de la MASA de colorante que se haya agregado y del VOLUMEN en que se haya distribuido esa masa. En el caso de la figura, el volumen de distribución será el del recipiente. Con cualquier **método colorimétrico** se podrá determinar la concentración que el colorante alcanzó al diluirse.

Como, en general:

$$\text{CONCENTRACION} = \frac{\text{MASA}}{\text{VOLUMEN}}$$

En nuestro caso, usando un indicador:

$$\text{VOLUMEN DE DISTRIBUCION} = \frac{\text{MASA AGREGADA}}{\text{CONCENTRACION ALCANZADA}}$$

En el caso del AGUA CORPORAL TOTAL se puede utilizar, como indicador, **agua tritiada** (THO): agua en la que, en algunas de sus moléculas, el TRITIO ( $^3\text{H}$ ) reemplaza al hidrógeno ( $^1\text{H}$ ) (Fig. 1.3). Como el tritio es un isótopo radiactivo del hidrógeno y es un **emisor  $\beta$** , la masa incorporada, en este caso por inyección endovenosa, al compartimiento corporal, y la concentración alcanzada, puede ser determinada con un contador de radiactividad.

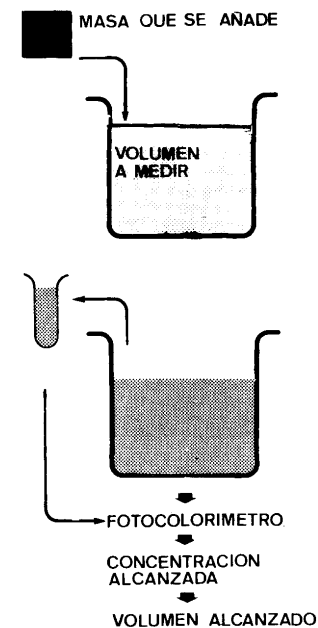


FIG. 1.2 METODO DE DILUCION PARA LA DETERMINACION DEL VOLUMEN DE UN COMPARTIMIENTO

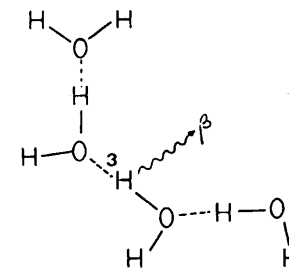


FIG. 1.3 AGUA TRITIADA

## **- Influencia de la constitución corporal y el sexo sobre el agua corporal total.**

En la práctica médica diaria no es posible medir, en cada uno de los pacientes, el agua corporal total inyectándole agua tritiada u otro indicador. Es un procedimiento relativamente sencillo, pero que requiere de un personal y un laboratorio especializado. Por eso se suele aceptar que TODO individuo adulto y sano tiene un agua corporal total que es aproximadamente igual al 60% de su peso corporal. Este razonamiento tiene el inconveniente de no tomar en cuenta las variaciones por edad, constitución y sexo del individuo.

**Edad:** Un niño recién nacido tiene un porcentaje de agua, con respecto a su peso, del 76%, mientras que en un anciano éste porcentaje declina hasta ser del 51%. El "signo del pliegue" se obtiene tomando, entre el pulgar y el índice, una porción de la piel del antebrazo, por ejemplo. Si queda formado un pliegue, para un pediatra es una señal de deshidratación en un niño, mientras que esto es normal en un anciano. En ambos casos indicará la pérdida de agua de la piel y, muy posiblemente, de todo el compartimiento corporal.

**Constitución:** Los OBESOS tienen, con respecto a su peso, un porcentaje de agua corporal menor que un individuo de su misma edad, sexo y altura, pero de una constitución normal. Este menor porcentaje es debido a la diferente masa de tejido adiposo en uno y en otro. Mientras el músculo, por ejemplo, tiene hasta un 75% de agua, el tejido adiposo sólo tiene el 10% de su peso como agua. Si, como se dijo, un adulto tiene el 15% de su peso como grasa, esto significa, para una persona de 70 kg, 10,5 kg de lípidos, en los que habrá 1,05 litros agua. Si esa persona, que debería pesar 70 kg, pesa, por ejemplo, 100 kg, tiene un sobrepeso de 30 kg y la casi totalidad de esos 30 kg están formados por grasa. Entonces, no tendrá 60 litros de agua corporal, sino

$$(70 \cdot 0,6) = 42 \text{ litros más } (30 \cdot 0,1) = 3 \text{ litros.}$$

Así, estos 45 litros de agua corporal del obeso sólo representan el 45% de su peso.

Este razonamiento es fundamental cuando, en las salas de cirugía, por ejemplo, se debe mantener el balance hídrico de un obeso.

Existen procedimientos destinados a conocer la **MASA MAGRA**, o masa corporal desprovista de grasa, de un individuo. Estos van desde la estimación del **peso específico** (la relación masa/volumen del sujeto), hasta la medición de la masa muscular con  $^{42}\text{K}$ , un isótopo radiactivo del potasio. Por lo general bastará encontrar, en las tablas, cuál es el peso que le corresponde a su edad, sexo y altura. A partir de ese PESO TEORICO se calculará, entonces, el agua corporal como el 60% del peso.

**Sexo:** En la mujer adulta, el porcentaje de grasa es algo mayor que en un hombre de su misma edad, altura y peso. Por lo tanto, el porcentaje de agua de una mujer es algo menor que el de un hombre. Sin embargo, no hay inconveniente en tomar la cifra de 60% como válida para ambos sexos.

### 1.3 COMPARTIMIENTOS EXTRA E INTRACELULARES

El COMPARTIMIENTO CORPORAL, que describimos como formado por el agua corporal total y los solutos totales, **separado del medio exterior por los epitelios**, se encuentra, a su vez, dividido en dos grandes compartimientos: el COMPARTIMIENTO INTRACELULAR y el COMPARTIMIENTO EXTRACELULAR.

Si el **agua corporal total** de un adulto de 70 kg es de 42 litros, 28 litros estarán dentro de las células, formando el **agua intracelular** y 14 litros estarán fuera de las células, formando el **agua extracelular**. Con respecto al peso corporal, se puede decir que el agua extracelular es el 20% del peso corporal y el agua intracelular es el 40% del peso corporal (Fig. 1.4).

A su vez, el agua extracelular está distribuida en dos compartimientos: el INTRAVASCULAR, formado por el volumen contenido dentro del árbol vascular y el INTERSTICIAL, el comprendido entre las membranas celulares, por un lado, y la pared de arterias, venas y capilares, por el otro.

El volumen de cada uno de estos compartimientos puede de ser determinado usando técnicas de dilución similares a las descritas para el agua corporal total. En cada caso, como muestra la Fig. 1.5, será cuestión de elegir apropiadamente el INDICADOR.

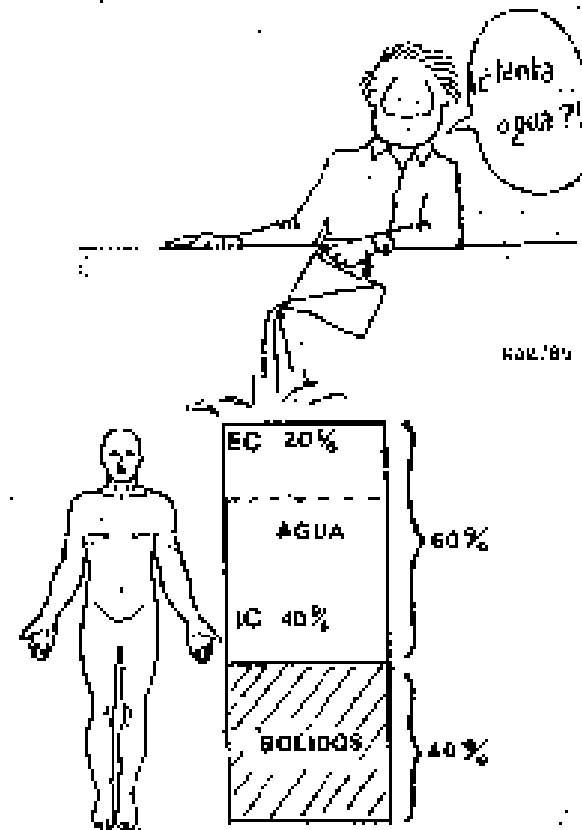


FIG. 1.4 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA PROPORCION DE SOLIDOS Y AGUA EN UN HOMBRE ADULTO

- **Compartimiento intravascular:** Para el agua intravascular habrá que usar una sustancia que se distribuya en el agua contenida en el interior de los vasos, pero que no pase al intersticial. Las proteínas plasmáticas, por ejemplo, son macromoléculas que atraviesan en muy pequeña proporción las paredes capilares. Se puede inyectar, entonces, un colorante (Azul de Evans, por ejemplo) que se **adhiera** a su superficie, lo que "marcará" su espacio de distribución. Como las proteínas se distribuyen en el agua plasmática, pero no entran en los glóbulos rojos, si se quiere conocer el volumen total intravascular habrá que conocer el hematocrito del paciente (Fig. 1.6). Este indicará la proporción de glóbulos y de plasma que tiene el sujeto y se podrá conocer, entonces, el volumen sanguíneo total a partir del volumen plasmático.

- **Compartimiento extracelular:** El extracelular está formado por el intravascular y el intersticial, de modo que habrá que buscar un indicador que, inyectado en una vena, salga de los capilares, se distribuya en ambos compartimientos por igual, pero que no entre a las células, Este papel lo cumplen sustancias como la inulina y el isótopo  $^{35}\text{S}$ , entre otros.

- **Compartimiento intersticial:** No existe una sustancia que, inyectada por una vena, salga por los capilares y se quede atrapada SOLO en el intersticial. Entonces, se deben usar dos indicadores simultáneamente: uno que se distribuya en el intravascular y otro en el extracelular. La resta del espacio de distribución de uno y otro dará el volumen del compartimiento intersticial.

- **Compartimiento intracelular:** Para determinar el agua intracelular, en la medida en que no existe un indicador que quede sólo en las células, se deben usar también dos indicadores: uno que mida el agua corporal total y otro el agua extracelular. La resta dará el intracelular.

A estos compartimientos biológicos hay que agregar el volumen de los líquidos **TRANSCELULARES**, que comprende el líquido cefaloraquídeo, el líquido sinovial, el humor acuoso, etc. Son, por lo general, productos de secreción celular y pueden considerarse una extensión del extracelular, aunque su velocidad de intercambio con el exterior es mucho más lenta

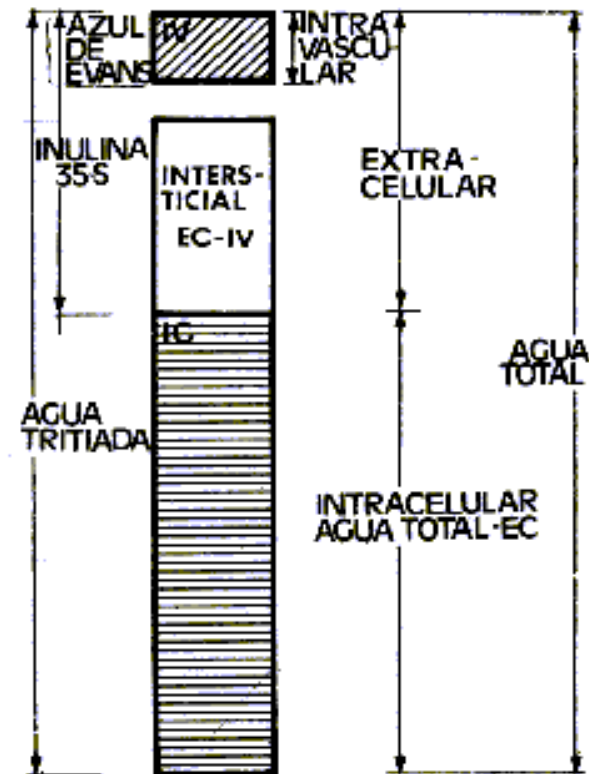


FIG. 1.5 EL USO DE INDICADORES ESPECIFICOS PERMITE DETERMINAR LOS VOLUMENES DE LOS ESPACIOS CORPORALES.

**TABLA 1.1 DISTRIBUCION DEL AGUA CORPORAL DE UN ADULTO DE 70 kg**

	AGUA TOTAL	INTRACELULAR	EXTRA-CELULAR	INTRA-VASCULAR	INTERSTICIAL
<b>% DEL PESO</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>15</b>
<b>LITROS</b>	<b>42</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>3,5</b>	<b>10.5</b>

La Tabla 1.1 resume, en un adulto, la distribución del agua corporal en los distintos compartimientos.

#### 1.4 SALIDAS Y ENTRADAS DE LOS COMPARTIMIENTOS CORPORALES

Los compartimientos corporales no son compartimientos cerrados y, como se muestra en la Fig. 1.7, hay un permanente movimiento de agua y solutos entre ellos y entre el compartimiento corporal y el exterior. Debe notarse que toda sustancia que **INGRESA** al compartimiento corporal, ya sea por vía digestiva o respiratoria, debe atravesar, forzosamente, para llegar al intersticial y a las células, el compartimiento intravascular. Del mismo modo, toda sustancia que **EGRESA** del compartimiento corporal, ya sea por vía digestiva, respiratoria, urinaria o a través de la piel, también debe atravesar el compartimiento intravascular para alcanzar el exterior.

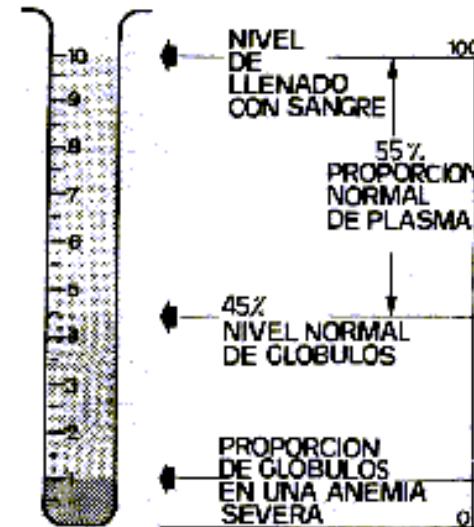
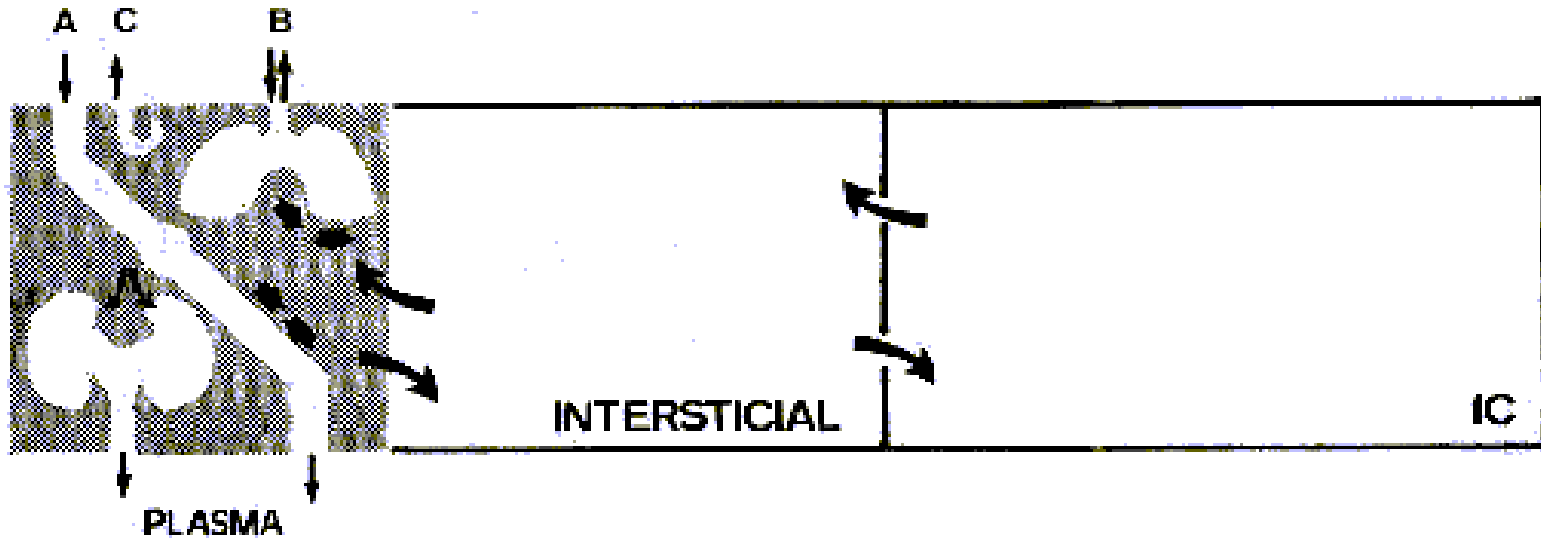


FIG.1.6 HEMATOCRITO (Ht). EN UN TUBO SE COLOCA LA MUESTRA DE SANGRE Y SE CENTRIFUGA. EL SOBRENADANTE ESTARA FORMADO POR PLASMA Y EL SEDIMENTO POR ERITRICITOS. EN UNA PERSONA NORMOHIDRATADA, LA PROPORCION DE DE ERITROCITOS/PLASMA ES DE 45% Y SE REDUCE EN LAS ANEMIAS. EL Ht AUMENTA EN LAS DESHIDRATACIONES

Es importante recordar que, aunque el compartimiento intravascular, y en especial el agua plasmática, es la VIA OBLIGADA para el paso de todas las sustancias que entran y salen del organismo, éste es sólo una pequeña parte de todo el compartimiento corporal. Es habitual extraer, en un paciente, una muestra de sangre por punción de una vena del pliegue del codo, analizar la CONCENTRACION de una determinada sustancia disuelta en el agua plasmática y procurar estimar la situación de esa sustancia en **todo** el compartimiento corporal. Más aún, es frecuente, a partir de esa muestra, inferir conclusiones sobre el estado de salud o enfermedad del individuo. Esto sólo será posible, hasta cierto punto, si se conoce cómo esa sustancia se DISTRIBUYE entre los distintos compartimientos.



**FIG. 1.7** EL INTRAVASCULAR ES LA VIA DE ENTRADA Y SALIDA DE AGUA, SOLUTOS Y GASES AL COMPARTIMIENTO CORPORAL. A) EL AGUA Y LOS ALIMENTOS ENTRAN POR LA BOCA AL TUBO DIGESTIVO. ALLI SON ABSORBIDOS, PASANDO AL ESPACIO INTERSTICIAL A TRAVES DE LA PARED DE LOS CAPILARES Y DE ALLI AL INTRACELULAR (IC) A TRAVES DE LAS MEMBRANAS CELULARES. EL AGUA Y LOS PRODUCTOS DEL METABOLISMO PASAN DE LAS CELULAS AL INTERSTICIAL Y DE ALLI AL INTRAVASCULAR, DE DONDE SON EXCRETADOS POR VIA RENAL Y DIGESTIVA. B) LOS GASES ATMOSFERICOS SIGUEN UN CAMINO SIMILAR, SIENDO ABSORBIDOS Y ELIMINADOS POR VIA PULMONAR. C) LAS GLANDULAS SUDORIPARAS PERMITEN LA ELIMINACION DE CALOR DEL AGUA QUE TOMAN DEL PLASMA



- Distribución de sustancias entre los compartimientos: Para entender más claramente qué significa esto de la distribución entre los compartimientos, pongamos cuatro ejemplos muy claros.

- a) La distribución de los glóbulos rojos.
- b) La distribución de la urea.
- c) La distribución del ion  $\text{Na}^+$
- d) La distribución del agua.

Los GLOBULOS ROJOS están presentes en el compartimiento intravascular en una concentración que, de acuerdo al individuo y a circunstancias, está entre 4 y 5 millones / $\text{mm}^3$  ( $1 \text{ mm}^3 = 1 \mu\text{L}$ ). No hay glóbulos ni en el intersticial ni en el intracelular, simplemente porque, en condiciones normales, los glóbulos rojos no pueden atravesar el epitelio capilar.

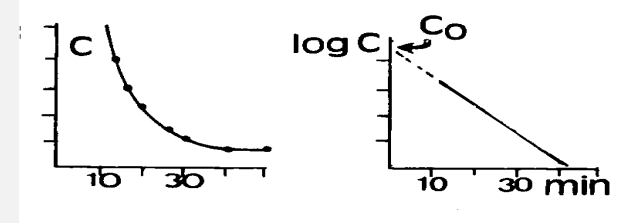
La UREA está presente en el intravascular, el intersticial y el intracelular en, aproximadamente, la misma concentración (0,3 g/ L). Sin hacer en ninguna otra consideración, podemos decir que la urea se distribuye homogéneamente y que ni el endotelio capilar ni la membrana celular significan **barreras** efectivas para su movimiento. Así es que la urea "marcada" ( $^{14}\text{C}$ -urea) puede ser usada como indicador para medir el agua corporal total de un individuo.

El SODIO está presente en el agua plasmática y en el agua intersticial en concentraciones muy similares ( $\sim 140 \text{ mEq/L}$ ), y aunque la concentración en el intersticial es algo menor (ver p. 32), se suele considerar que la distribución es homogénea entre estos dos compartimientos. Lo llamativo es que en el intracelular la concentración de  $\text{Na}^+$  es de tan sólo  $12 \text{ mEq/L}$ . Sin entrar a juzgar el mecanismo por el cual esta concentración intracelular se mantiene baja, queda claro que la membrana celular **debe** estar actuando sobre el  $\text{Na}^+$ , impidiendo que sus concentraciones intra y extracelulares se igualen. Al mismo tiempo, es obvio que el endotelio capilar no es una barrera efectiva para este ion.

El AGUA, por su parte, es, de todas las sustancias del organismo, la que más fácilmente atraviesa los límites de los compartimientos. De allí que no sea posible encontrar, más que por brevísimos

### INDICADORES QUE SE ESCAPAN DE LOS COMPARTIMENTOS

La idea de inyectar una MASA de un indicador y al tiempo medir la CONCENTRACION requiere que, en el lapso que media entre el momento de la inyección y la extracción de la muestra, no se haya perdido indicador. Esta pérdida ocurre sobre todo con los marcadores extravasculares, como la inulina y el agua tritiada: cuando se los inyecta se distribuyen rápidamente en la sangre y luego pasan al extracelular y a toda el agua corporal. Mientras esto sucede, parte del indicador es eliminado por la orina hacia el exterior. De ese modo, cuando se calcula el volumen de distribución de acuerdo a la fórmula  $V = M / C$  se comete un error si se toma a M como la masa inyectada. Debería usarse la masa real presente en el compartimiento al tiempo de la extracción y ésta no es más que (masa inyectada - masa perdida). Hacer esto requeriría medir la masa del indicador en la orina, por ejemplo, y esto no es fácil de hacer, en especial porque el volumen de orina que se puede conseguir, en un tiempo corto, es generalmente pequeño y con mucho error. Por eso se prefiere CALCULAR cuál hubiera sido la concentración si no se hubiera perdido nada. ¿Cómo se logra esto? Simplemente se toman VA-RIAS muestras de sangre a distintos tiempos después de la inyección del indicador y se analiza, en cada una de ellas, la concentración. Se gráfica la concentración en función del tiempo y se obtiene lo siguiente:



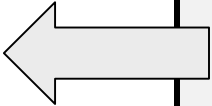
El gráfico de la izquierda es la representación de la concentración en una escala uniforme y el de la derecha en una escala logarítmica. Como la función es EXPONENCIAL, se obtiene una recta y se puede extrapolar hasta que corte el eje y (línea punteada). La intersección corresponde a la concentración que habría en el compartimiento a tiempo cero: un tiempo en el que no puede haberse perdido NADA. Usando ahora la masa inyectada y la concentración a tiempo cero, se puede calcular el espacio de distribución del indicador y, lógicamente, el volumen del compartimiento.

intervalos, diferencias de concentración de agua entre uno y otro compartimiento.

### 1.5 COMPOSICION DE LOS COMPARTIMIENTOS BIOLÓGICOS

Para comprender por qué puede haber una diferente relación entre un **SOLUTO** determinado y el **SOLVENTE** (agua), en los distintos compartimientos, se hace necesario conocer:

- a) Qué tipo de DISPERSION forma la sustancia en el compartimiento.
- b) Qué MASA y qué CONCENTRACION hay de esa sustancia.
- c) Qué FLUJO hay de esa sustancia entre los compartimientos.
- d) Qué FUERZA IMPULSORA gobierna esos movimientos.



**LOS PUNTOS a) y b) referidos a las características de las soluciones son tratados en este capítulo mientras que los puntos c) y d), que tienen que ver con el movimiento de soluto y de solvente serán tratados en el capítulo 2**

#### - Dispersiones de sólidos en agua en los compartimientos

Los términos soluto y solvente se han usado, hasta ahora, de un modo muy general, para indicar, en el primer caso, la sustancia que se encuentra en menor proporción y, en el segundo (obligatoriamente agua para los compartimientos biológicos), la que se encuentra en mayor proporción. Estrictamente hablando, el agua no es un solvente para los glóbulos rojos, por ejemplo, en la medida en que estos no se disuelven en el agua, sino que se encuentran **suspendidos** en ella. En fisicoquímica se suele clasificar a las mezclas o DISPERSIONES de sustancias en agua, como:

- 1) Suspensiones groseras.
- 2) Suspensiones coloidales.
- 3) Soluciones verdaderas.

En la TABLA 1.11 se muestran algunos elementos que diferencian una de otra a estas dispersiones. Sin embargo, la clave está en el TAMAÑO de las partículas del soluto y su ESTABILIDAD. Así, en la sangre, los glóbulos rojos forman una suspensión grosera y bastará dejar en reposo un tubo con sangre para ver que los glóbulos sedimentan, se van hacia el fondo, separándose la sangre en dos fases: PLASMA y GLOBULOS. Si ahora, en ese plasma, se quiere separar las proteínas, que están formando una suspensión coloidal, en el agua plasmática, se verá que estas no sedimentan espontáneamente

**TABLA 1.II CLASIFICACION DE LAS DISPERSIONES AGUA - LIQUIDO**

	<b>Diámetro de las partículas (nm)</b>	<b>Visibilidad de las partículas</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Difusión a través de membranas</b>
<b>Suspensiones groseras</b>	mayor de 100	Buena	Escasa	Nula
<b>Suspensiones coloidales</b>	1 a 100	sólo al ultramicroscopio o al m. electrónico	Regular	Escasa
<b>Soluciones</b>	menor de 1	Nula	Buena	Buena

Sin embargo, si se agrega un ácido al plasma, se formarán agregados proteicos y la suspensión pasará de coloidal a grosera, con lo que las proteínas PRECIPITAN. Por último, si se quiere separar el Na<sup>+</sup> o el Cl<sup>-</sup> del agua plasmática, se verá que éstos no sedimentan, no se forman dos fases y sólo por procedimientos más enérgicos, como la destilación, por ejemplo, se logra separar el agua y los iones. Esto se debe a que están formando una **solución verdadera**.

**- Masa y concentración**

**- Masa:** La unidad de MASA en el **Sistema Internacional** (SI) es el kilogramo (kg), pero, en Medicina, solo se usará esta unidad cuando se quiera, por ejemplo, expresar el peso de un individuo. También se puede usar para expresar la masa de agua de una solución, pero, por lo general, para indicar cantidades de **solutos** es más habitual usar **gramos** (g) o **miligramos** (mg), por ser unidades más apropiadas.

**- Volumen:** La unidad de VOLUMEN en el SI es el **metro cúbico** (m<sup>3</sup>), pero resulta más conveniente usar el **decímetro cúbico** (dm<sup>3</sup>) y el **centímetro cúbico** (cm<sup>3</sup>). Estas unidades de volumen deberán ir reemplazando al tradicional litro (L) y mililitro (mL). Una unidad muy usada en Medicina es el decilitro (dL), igual a 100 mL o 100 cm<sup>3</sup>.

-

TABLA 1.III UNIDADES DE MASA – gramos (g)		
kilogramo (kg)	10 <sup>3</sup>	
gramo (g)	1	
miligramo (mg)	10 <sup>-3</sup>	
microgramo (µg)	10 <sup>-6</sup>	
nanogramo (ng)	10 <sup>-9</sup>	
UNIDADES DE VOLUMEN		
	<b>cm<sup>3</sup></b>	<b>litros</b>
centímetro cúbico (cm <sup>3</sup> )	1	10 <sup>-3</sup>
decímetro cúbico (dm <sup>3</sup> )	1000	1
litro (L)	1000	1
decilitro (dL)	100	10 <sup>-1</sup>
mililitro (mL)	1	10 <sup>-3</sup>
microlitros (µL)	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>
milímetro cúbico (mm <sup>3</sup> )	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>
nanolitro (nL)	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-9</sup>

- **Concentración:** Para conocer la situación de una sustancia en un compartimiento biológico se hace necesario conocer la **masa** de la sustancia en estudio y el **volumen** en que se encuentra distribuida. Así, será posible decir que un determinado paciente tiene un volumen plasmático de 3800 mL y una masa de urea, disuelta en ese plasma, de 14 g. Se está dando la información completa sobre el soluto UREA en el compartimiento PLASMA. Sin embargo, ésta no es la forma habitual de expresar la relación existente entre el soluto y el solvente. Lo corriente es que al paciente se le extraiga una MUESTRA de sangre, generalmente de unos pocos mililitros y se separe, por centrifugación, el plasma, y en él se analice. con algún método apropiado, la CONCENTRACION de esa sustancia (Fig. 1.8). En el ejemplo que hemos puesto de la urea, sería:

MASA: 1,14 g

VOLUMEN: 3800 mL

$$\text{CONCENTRACION} = \text{MASA} / \text{VOLUMEN} = 1,14 \text{ g} / 3800 \text{ mL} = 0,3 \text{ g/L}$$

En la práctica médica, por lo general se mide sólo la concentración y a partir de ella se **calculan** los otros elementos. Nótese que la concentración es una PROPIEDAD INTENSIVA de las soluciones y, como tal, es independiente de la masa y del volumen que se haya tomado en la muestra.

Por esa misma razón, TODOS los valores siguientes expresan exactamente lo mismo:

<b>Concentración de urea en plasma</b>	0,3 g/L
	300 mg/L
	30 mg/100 cm <sup>3</sup>
	30 mg/dL
	0,3 mg/mL
	0,3 µg/µL

A estas expresiones se podría agregar una variedad enorme de combinaciones. Desgraciadamente, no existe, pese a todos los esfuerzos realizados, una unidad de criterio para indicar las concentraciones y se debe, permanentemente, convertir una unidad en otra

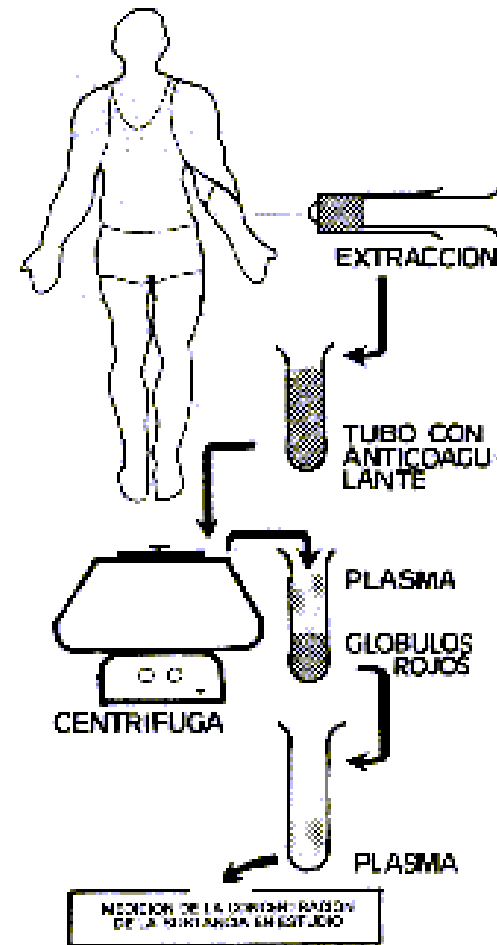
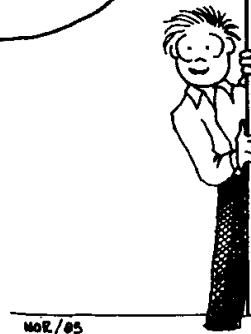


Fig. 1.8 EN MEDICINA, LA INFORMACION ACERCA DE LA SITUACION DE UNA SUSTANCIA EN EL CUERPO SE OBTIENE, POR LO GENERAL, EXTRAYENDO UNA MUESTRA DE SANGRE DE UNA VENA DEL PLIEGUE DEL CODO, LA QUE SE COLOCA EN UN TUBO CON ANTICOAGULANTE, SE CENTRIFUGA Y SE SEPARA EL PLASMA. EN EL SE ANALIZA, POR ALGUN METODO APROPIADO, LA CONCENTRACION DE LA SUSTANCIA

El concepto de **propiedad intensiva** puede, quizás, ser mejor entendido si se recuerda que la TEMPERATURA es una propiedad intensiva, mientras que el CALOR es una **propiedad extensiva**. Una aguja de coser puede tener la misma temperatura que un bloque de acero de una tonelada, pero su calor es infinitamente más pequeño. Si del bloque se extrae una masa, ya sea de 1 gramo o de 100 kg, la temperatura será, en ambos, la misma. Esto también ocurre con la concentración: si la solución es homogénea, la concentración será la misma para cualquier volumen.

- **Concentración y masa de un soluto en un paciente:** Si, como se dijo (pág.9), la urea está homogéneamente distribuida en los compartimientos biológicos, su concentración será la misma en el intracelular y el extracelular. Esto no quiere decir, por supuesto, que la masa de urea en cada uno de ellos sea la misma, ya que el volumen intracelular es el doble del volumen extracelular. Imaginemos que al hospital llega un paciente con una insuficiencia renal crónica, una enfermedad que determinó, como signo característico, un aumento de la concentración de urea en plasma. Supongamos que en este caso la concentración **medida** de urea es de 0,9 g/L, tres veces superior a lo normal. Podríamos limitarnos a decir que la concentración es... ALTA. Sin embargo, como sabemos que la urea se distribuye sin restricciones por todos los compartimientos, podemos decir que el paciente tiene 0,9 g gramos de urea por cada litro de **agua corporal**. Si el paciente pesa, por ejemplo, 70 kg, tendrá 42 litros de agua corporal y 37,8 g de urea en TODO su cuerpo. ¿Cuánto **debería** tener si estuviera sano? Multiplicando la concentración normal de 0,3 g/L por 42 litros daría una MASA normal de 12,6 g. El médico que trate al paciente debe pensar que, cualquiera sea el tratamiento que use, debe **sacar** del paciente (37,8 g - 12,6 g) = 25,2 g de +urea. Esto es más lógico que limitarse a decir que hay que "bajarle" la urea.

¿... y si la compramos hecha...?



## COMO SE PREPARA UNA SOLUCION

Las expresiones g/L ó mg / 100 mL y, más aún la muy usada "%", como indicación de una solución, suelen crear dudas sobre cómo se hace para prepararlas en el laboratorio. ¿Cuál es la masa y cuál es el volumen que hay que poner para preparar una solución de glucosa al 5%? Básicamente será cuestión de pesar 5 gramos de glucosa, ponerlos en un matraz de 100 mL y agregar agua hasta la marca. En la medida que la glucosa que esta en el matraz ocupa un volumen, el agua agregada será menor a los 100 mL, pero no es necesario saber cuanta agua se puso. La expresión "5%" indica que hay 5 g de glucosa por cada 100 mL de SOLUCION y que esta está formada por el volumen del soluto y el volumen del solvente. Los productos farmacéuticos y las recetas magistrales se preparan de ese modo y así el "recipe" o "receta" de la solución al 5% diría:

Rp/  
glucosa ..... 5 g    agua  
agua destilada csp ..... 100 mL

donde csp quiere decir "cantidad suficiente para", el volumen necesario para completar los 100 mL . Sabiendo que la concentración es una propiedad intensiva, será cuestión de preparar, manteniendo la concentración constante, el volumen de solución que se desee. Si se necesitan 500 mL de solución al 5% se pesaran 25 g de glucosa y se agregará agua hasta 500 mL, si se necesitan 10 litros se pesarán 500 g, etc.

## 1.6 CANTIDAD DE SUSTANCIA Y SOLUCIONES MOLARES

- **Concepto de mol:** Las concentraciones expresadas como "gramos por litro", (g/L), o cualquiera de sus variantes, son de uso cotidiano en medicina. Sin embargo, tienen el grave inconveniente de no permitir conocer, inmediatamente, el número de moléculas de solutos que hay una cierta unidad de volumen. Supóngase que tenemos 2 soluciones: una de glucosa al 5% (5 g/100 cm<sup>3</sup> ó 5 g/dL) y otra de urea, también al 5%. No habrá duda que la MASA de glucosa, por unidad de volumen, será igual a la MASA de urea por unidad de volumen. Lo que no se puede afirmar es que el número de MOLECULAS de glucosa sea igual al número de MOLECULAS de urea.

Imaginemos que, como muestra la Fig. 1.9, una membrana, con propiedades parecidas a las de una membrana celular, separa en dos compartimientos el volumen de un recipiente. En el recipiente de arriba (A) hay glucosa al 5% en el lado 1 y agua en el lado 2. En el de abajo (B) hay urea al 5% en el lado 1 y agua en el lado 2. Como se verá más tarde, en sistemas como éste se pueden describir fenómenos como difusión, ósmosis, transporte activo, etc. En TODOS ellos, el fenómeno estará relacionado con el NUMERO DE MOLECULAS, ATOMOS, IONES y, en general, PARTICULAS de solutos y de agua que hay cada uno de los compartimientos. En este caso hay la misma masa por unidad de volumen de glucosa que de urea, pero hay 3 veces más moléculas de urea, por unidad de volumen, que de glucosa.

Esta afirmación de que hay más moléculas de urea que de glucosa viene del concepto de MOL. Así, 1 mol de CUALQUIER SUSTANCIA tiene el mismo número de moléculas, átomos, iones o, para usar una expresión general, partículas. Actualmente se define al mol como:

1 MOL ES LA CANTIDAD DE SUSTANCIA DE UN SISTEMA QUE CONTIENE TANTAS UNIDADES ELEMENTALES COMO ATOMOS HAY EN 0,012 kg DE CARBONO-12.

De allí podemos deducir: 12 g (0,012 kg) es el peso atómico del carbono-12, el elemento que se toma como base para determinar el peso atómico de todos los otros elementos. Por lo tanto, un mol de cualquier sustancia es una cantidad de esa sustancia, expresada

EN ESTE MOMENTO USTED DEBE RESOLVER EL PROBLEMA 1, CON SUS 4 PARTES PLANTEADO AL FINAL DEL CAPITULO

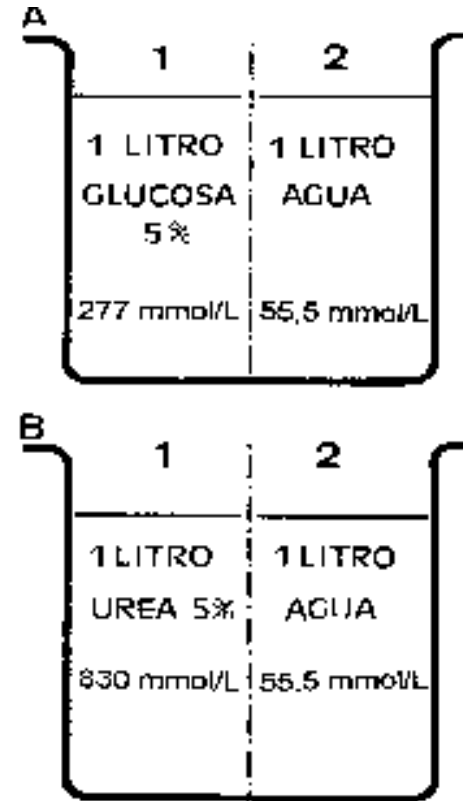


FIG. 1.9 DOS SOLUCIONES, UNA DE UREA Y OTRA DE GLUCOSA, TIENEN CONCENTRACIONES IGUALES SI SE LAS EXPRESA COMO MASA/VOLUMEN, PERO SON DIFERENTES SI SE LAS CALCULA COMO MOLES/LITRO

en gramos, igual a su peso atómico. Por extensión, para sustancias que se encuentra formando **moléculas**, es la cantidad de esa sustancia, expresada en gramos, igual a su peso molecular. Lo fundamental, en todo caso, reside en que:

UN MOL DE CUALQUIER SUSTANCIA CONTIENE EL NUMERO DE AVOGADRO DE ATOMOS, IONES, MOLECULAS Y, EN GENERAL, PARTICULAS Y ESTE ES IGUAL A  $6,02 \cdot 10^{23}$  PARTICULAS.

Se puede entonces, redefinir el MOL diciendo que:

1 MOL ES LA CANTIDAD DE SUSTANCIA QUE CONTIENE  $6,02 \cdot 10^{23}$  PARTICULAS.

De este modo, como el peso atómico del  $\text{Na}^+$  es 23, sería necesario **pesar** 23 g de  $\text{Na}^+$  para obtener 1 mol de iones sodio y en esa masa habría  $6,02 \cdot 10^{23}$  iones  $\text{Na}^+$ . En la medida en que un ion  $\text{Na}^+$  es un átomo de sodio que ha perdido un electrón. se puede decir que en mol de  $\text{Na}^+$  hay una defacto del 1 mol de electrones, o de  $6,02 \cdot 10^{23}$  electrones.

No habría inconveniente en hablar de "un mol de honrmigas", ¡si fuera posible obtener la enorme cantidad que significa  $6,02 \cdot 10^{23}$  hormigas! Para el caso de la Fig. 1.9, el peso molecular (pm) de la urea es de 60 por lo que 1 mol pesa 60 g o, más sencillamente:

pm de la UREA: 60 g/ mol

El peso molecular de la glucosa es 180 y, del mismo modo, pm de la GLUCOSA: 180 g/ mol

En la solución de **urea** al 5% hay 5 g de urea por cada  $100 \text{ cm}^3$  ó 50 g urea por cada litro de solución. Entonces:

60 g/L ..... 1 mol/L de urea  
50 g/L .....  $x = 0,83$  mol/L de urea

Esto equivale a decir que la solución de urea al 5% tiene una concentración de:

$0,83 \text{ mol} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = 4,99 \cdot 10^{23} \text{ moléculas de urea}$   
por litro de solución.

En la solución de glucosa al 5% hay 5 g de glucosa por cada 100  $\text{cm}^3$  o 50 g de glucosa por cada litro de solución. De ese modo:

160 g/L ..... 1 mol/L de glucosa  
50 g/L .....  $x = 0,277 \text{ mol/L de glucosa}$

Esto equivale a tener  $1,66 \cdot 10^{23}$  moléculas de glucosa por litro de solución. En la Fig. 1.9, en el lado 1 del recipiente B hay MAS moléculas de soluto que en el lado 1 de recipiente A. La relación de los pesos moleculares es:

$$\frac{\text{pm glucosa}}{\text{pm urea}} = \frac{180}{60} = 3$$

y la relación del número de moléculas es:

$$\frac{\text{número de moléculas de urea/L}}{\text{número de moléculas de glucosa/L}} = \frac{4,99 \cdot 10^{23}}{1,66 \cdot 10^{23}} = 3$$

Como se ve, cuanto MAYOR es el peso molecular de la sustancia, MENOR será el número de partículas por UNIDAD DE MASA.

En general:

$$\frac{(\text{pm sustancia})_1}{(\text{pm sustancia})_2} = \frac{(\text{N}^\circ \text{ de partículas sustancia})_2}{(\text{N}^\circ \text{ de partículas sustancia})_1}$$

Por eso, al comienzo de esta discusión. afirmamos que había 3 veces más moléculas de urea que de glucosa, a pesar de que las concentraciones, en gramos por litro, eran iguales.



## - Soluciones molares

Como se comprende, las SOLUCIONES EXPRESADAS EN MOLES son soluciones, como cualquiera de las que señalamos antes, en las que hay una **masa** de sustancia disuelta en un **volumen**. La única diferencia es que hay que realizar un CALCULO PREVIO para saber cuanta masa hay que colocar en el matraz para obtener una determinada concentración en moles. Así, como vimos, una solución de glucosa al 5% es una solución que tiene 0,277 moles por litro y se dirá: "Solución de glucosa: 0,277 mol/L".

Es poco frecuente usar, en Medicina, soluciones de una concentración tan alta como para tener que hablar de MOLES por litro. Lo habitual es que la sustancia se encuentre en los líquidos orgánicos en concentraciones del orden de los MILIMOLES (1 mmol =  $10^{-3}$  mol ) y, así, la solución de glucosa será de 277 mmol/L. Una notación muy conveniente, sobre todo cuando se quieren evitar confusiones en las ecuaciones, es decir:

$$277 \text{ mmol/L} = 277 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

También, de acuerdo al SI:

$$277 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^3 = 277 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

Recordando la propiedad intensiva de las soluciones, esta concentración se puede expresar de muchas maneras:

$$277 \text{ mmol/L} = 277 \text{ } \mu\text{mol/mL} = 0,277 \text{ mmol/mL} = 0,277 \text{ } \mu\text{mol/}\mu\text{L}$$

El término SOLUCION MOLAR se usa para definir la solución que tiene una cierta cantidad de moles por litro de solución y, en nuestro caso, se diría "solución de glucosa 0,277 molar" ó 0,277 M. Aunque ésta forma de expresar es muy usada, es preferible señalar siempre las unidades (0,277 mol/L).

**EN ESTE MOMENTO USTED DEBE  
RESOLVER EL PROBLEMA 2, CON SUS 4  
PARTES, PLANTEADO AL FINAL DE ESTE  
CAPITULO**

**FIN DE LA PARTE 1 DEL  
CAPITULO 1  
CONTINUA PARTE 2**