

# Capítulo 3

## PARTE 1/3

### 3.1 MODIFICACIONES Y ALTERACIONES DEL BALANCE DE AGUA Y SOLUTOS EN EL HOMBRE.

En base a los conocimientos adquiridos en los capítulos anteriores, podemos ahora encarar el estudio de **algunas** de las situaciones en las que el balance entre las entradas y salidas de agua y solutos al compartimiento corporal no es, en un momento dado, igual a cero. El solo hecho de beber una cierta cantidad de agua introduce una MODIFICACION en el volumen y la composición de los fluidos corporales. Serán los **mecanismos homeostáticos** los encargados de que las cosas vuelvan a sus valores originales, sin que el individuo siquiera llegue a percibir esos cambios. Un caso diferente sería, por ejemplo, el de una persona perdida en el desierto, sin agua y al rayo del sol. Los mecanismos homeostáticos tratarán de restablecer las condiciones habituales de los compartimientos corporales, pero, debido a las condiciones extremas en que está el sujeto, puede que esto no se logre y que aparezcan ALTERACIONES del balance. Estas alteraciones pueden ser tan graves que pongan, incluso, en peligro la vida del individuo.

Para comprender cómo se puede llegar a estas modificaciones y alteraciones del balance, lo primero que hay que conocer cuales son las **vías de entrada y de salida** del agua y de soluto al compartimiento corporal. Luego se verá cómo los cambios en las entradas o de salidas pueden llegar a modificar o alterar el balance. Se tomará, como un ejemplo, el BALANCE DE AGUA Y SODIO, en la creencia de que posible usar el mismo razonamiento para otras sustancias.

### 3.2. BALANCE DE AGUA: INGRESOS DE AGUA AL COMPARTIMIENTO CORPORAL.

Si se mide, durante un día, el balance de agua de un adulto, se ve que hay un INGRESO diario de unos 2500 mL. Esta cifra no es, por supuesto, fija, ya que depende, en gran parte, de los HABITOS del individuo. Un bebedor de cerveza puede duplicar o triplicar ese

INDICE -- Parte 1	Pág
<b>3.1 MODIFICACIONES Y ALTERACIONES DEL BALANCE AGUA Y SOLUTOS EN EL HOMBRE</b>	<b>1</b>
<b>3.2 BALANCE DE AGUA: INGRESOS DE AGUA AL COMPARTIMIENTO CORPORAL</b>	<b>1</b>
<b>3.3 EGRESOS DE AGUA</b>	<b>3</b>
<b>1) Orina</b>	<b>3</b>
- Orinas hipertónicas e hipotónicas	5
- Filtración y reabsorción	6
- Concentración de orina y evolución	7
<b>2) Pérdidas insensibles</b>	<b>8</b>
- Pérdida de agua por respiración	8
- Pérdida de insensible por la piel	9
<b>3) Sudoración</b>	<b>10</b>
- Volumen y composición del sudor	11
- Aclimatación y sudoración	12
<b>4) Heces</b>	<b>14</b>

volumen de agua sin que su balance se altere, siempre que elimine la misma cantidad de agua que bebió.

Aparte del hábito, el ingreso de agua al organismo está muy influenciado, sobre todo en los países cálidos, por el volumen del SUDOR. Una sudoración profusa determinará la aparición de SED y una aumento de la ingesta de agua. De este modo, la cifra de 2500 mL por día es sólo tentativa y representa un valor promedio del volumen de agua que ingresa por día al compartimiento corporal, en un adulto sano que no esté sudando.

Estos 2500 mL/ día pueden ser divididos en:

1) AGUA DE BEBIDA	1200 mL/ día
2) AGUA DE LOS ALIMENTOS	1000 mL/ día
3) AGUA METABOLICA	300 mL/ día
	<hr/>
	2500 mL/ día

Por AGUA DE BEBIDA debe entenderse todo lo que el individuo BEBE, durante el día. Las bebidas gaseosas, los refrescos, la cerveza, el vino, etc., tienen un porcentaje pequeño de sólidos, de modo que no hay inconveniente en considerar, para este análisis, que 1 litro de cualquiera de estas bebidas corresponde a 1 litro de agua.

Por AGUA DE LOS ALIMENTOS debe considerarse el agua que está contenida en los alimentos que el individuo COME. Así, por ejemplo, el arroz cocido tiene, aproximadamente, 70 mL de agua por cada 100 g de arroz. Por lo tanto, si COME 200 g de arroz, es como si hubiera bebido 140 mL de agua. Aquí también la cifra de 1000 mL es sólo un valor promedio.

Por AGUA METABOLICA debe entenderse el volumen de agua que se produce, por día, al metabolizarse los lípidos, las proteínas y carbohidratos aportados por los alimentos. Este volumen de agua se produce a nivel celular y de allí se distribuye por toda el agua corporal. Aunque no proviene, como tal, del exterior, es agua que ingresa al compartimiento corporal y debe ser sumada a la de bebida y de los alimentos.

#### - Distribución del agua en el compartimiento corporal

Como ya se ha señalado en los Capítulos 1 y 2, las paredes capilares y las membranas celulares tiene una muy alta permeabilidad

#### VOLUMEN DE AGUA METABOLICA

El volumen del agua producida por vía metabólica depende del tipo de suatancia que se esté "quemando". Así

- Carbohidratos: 0,556 mL agua/g
- Proteínas: 0,396 mL agua/g
- Lípidos: 1,07 mL agua/g

De ese modo, el agua metabólica total producida en un día dependerá de la cantidad y ccomposición xdel alimento ingerido. La cifra de 300 mL/día que se da aquí es simplemente un valor aproximado para una dieta mixta.

al agua. Por eso es que el agua se distribuye homogéneamente entre los compartimientos y, cuando aparecen, las diferencias de concentración osmolar se disipan rápidamente por efecto de los flujos de agua.

### - Agua de los jugos digestivos

Para la digestión de los alimentos el aparato digestivo SEGREGA unos 8 litros de diarios de saliva, jugo gástrico, bilis, jugo pancreático, jugo intestinal, etc. En condiciones normales, este volumen es reabsorbido, en su casi totalidad, lo largo del mismo tracto gastrointestinal. De ese modo, no tendrían por qué ser tenidas en cuenta para el balance de agua corporal. Sin embargo, en el caso de las diarreas y las fístulas, en que hay pérdida al exterior de parte de estas secreciones, o en las obstrucciones intestinales, en que hay acumulación de líquido en un asa intestinal, estos volúmenes son muy importantes y hay que tenerlos en cuenta a la hora del balance. La Tabla 3.I muestra el volumen, en mL/día, y la composición de estas secreciones

### 3.3 EGRESOS DE AGUA

Para mantener el balance hídrico, estos 2500 mL de agua que ingresan por día al organismo, deben ser, en ese mismo lapso, eliminados (Fig. 3.1). Las vías habituales, para estas pérdidas, son:

1) ORINA	1400 mL/ día
2) PERDIDA INSENSIBLE	800 mL/ día
3) HECES	200 mL/ día
	2500 mL/ día

A estos volúmenes debe agregarse:

4) SUDOR. Lo que se pierde por esa vía está en relación con el balance CALORICO: se pierde agua por sudor porque ese es uno de los mecanismos de pérdida de calor. Su volumen es muy variable, desde 0 hasta 2 ó 3 litros POR HORA

1) La **ORINA** es una solución acuosa que contiene solutos como el Na<sup>+</sup>, el K<sup>+</sup>, el Cl<sup>-</sup>, la urea, el ácido úrico, que le otorgan una cierta osmolaridad. No contiene cantidades significativas de proteínas ni de

**TABLA 3.i COMPOSICION DE LOS DRENAJES GASTROINTESTINALES Y LAS SOLUCIONES DE REEMPLAZO**

ORIGEN	Na+	K+	Cl-	HCO3-	pH	Vol	Sol
	mEq/L	mEq/L	mEq/L	mEq/L		mL/día	
Saliva	25	20	30	15	7,0	1500	(1)
Estómago	40-80	5-10	60-130	0	7,4-7,6	2500	(2)
Bilis	120-140	5-15	60-90	15-30	7,4-7,6	500	(3)
Páncreas o yeyuno	120-140	5-15	60-90	15-30	7,4-7,6	1000	(3)
ileon bajo	120-140	5-15	90-100	15-30	7,4-7,6	1250	(3)

Sol: solución recomendada para el reemplazo:

(1) polielectrolítica + glucosada el 5%

(2) NaCl al 0,9%

(3) Ringer Lactato (Hartmann)

*Datos tomados de Berk JL y col. Handbook of Medical Care. Little, Brown & Co. Boston, 1976*

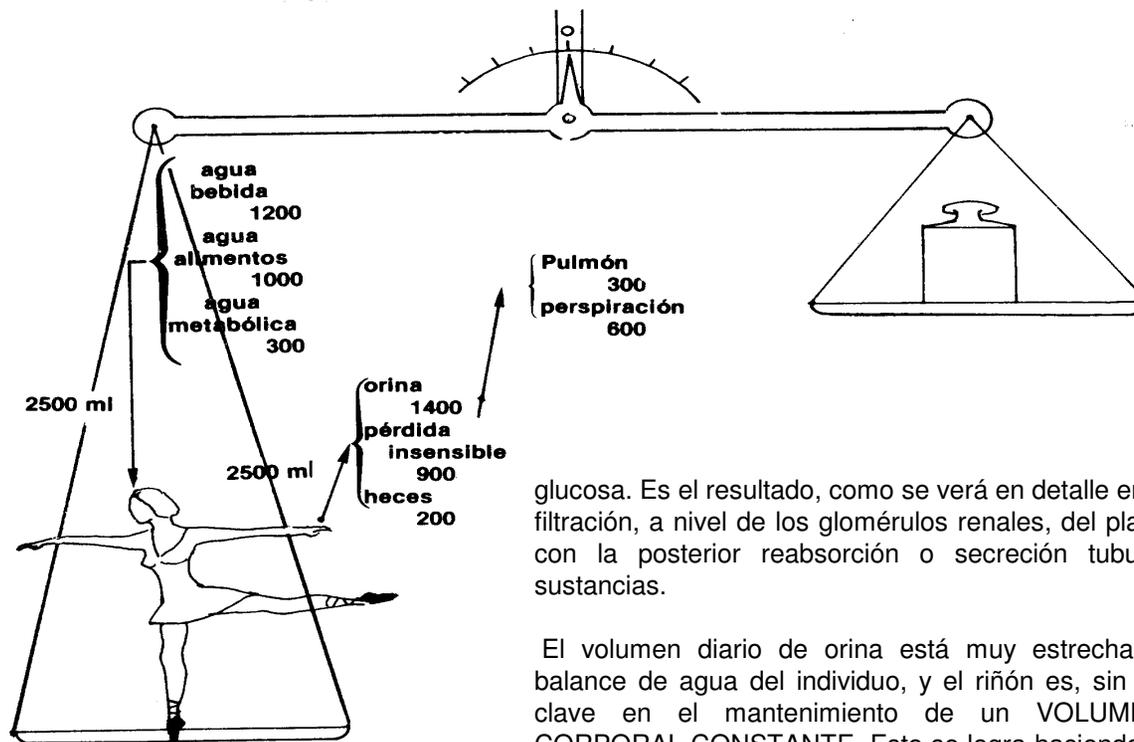


FIG 3.1 BALANCE DE AGUA EN UN HOMBRE. EL VOLUMEN TOTAL DE AGUA QUE INGRESA AL ORGANISMO ES IGUAL AL VOLUMEN QUE EGRESA Y LA PERSONA MANTIENE UN PESO CORPORAL COSNTANTE

glucosa. Es el resultado, como se verá en detalle en el Cap. 6, de la filtración, a nivel de los glomérulos renales, del plasma sanguíneo, con la posterior reabsorción o secreción tubular de algunas sustancias.

El volumen diario de orina está muy estrechamente ligado al balance de agua del individuo, y el riñón es, sin duda, el órgano clave en el mantenimiento de un VOLUMEN DE AGUA CORPORAL CONSTANTE. Esto se logra haciendo que el volumen de orina sea reducido en condiciones en que es necesario un AHORRO de agua y que aumente enormemente en los casos en que sea necesario eliminar, por ejemplo, una gran ingesta de agua. Un hombre sano está en condiciones de poner en juego mecanismos homeostáticos que lleven el volumen de orina a un VALOR MINIMO de unos 300-350 mL/día. Este es un volumen "OBLIGATORIO" que no puede ser disminuido. Así, un hombre desprovisto de agua, sudando y muerto de sed, seguirá perdiendo agua por orina y no habrá modo en que pueda evitarlo.

Su CAPACIDAD MAXIMA de eliminar grandes volúmenes es muy, amplia y, en los bebedores de cerveza, por ejemplo, se han medido volúmenes de orina de hasta 15 litros por día, sin que se produzcan alteraciones significativas de su medio interno (Ver la Nota Aparte: Hipo-osmolaridad plasmática en los grandes bebedores de cerveza).

### - Orinas hipertónicas e hipotónicas

Cualquier persona, aun sin el más mínimo conocimiento médico, se puede dar cuenta de que, cuando toma mucha agua, produce un gran volumen urinario y que la orina, en ese caso, es una orina DILUIDA, su color es un amarillo muy pálido, es casi incolora, y su olor es muy débil. Por el contrario, si no ha tomado agua por un período largo y está, por ejemplo, sudando, su orina es de poco volumen, tiene un color y un olor muy intenso: es una orina CONCENTRADA. Para aproximarnos a esta idea de **diluido** y **concentrado**, podemos imaginarnos un recipiente (Fig. 3.2) que contenga una solución de 300 mOsm/L. Si ahora tomamos, de allí, por evaporación, por ejemplo, un cierto volumen de AGUA PURA, lo que quede en el recipiente tendrá una osmolaridad MAYOR que 300 mOsm/L, será hipertónico con respecto al valor inicial y diremos que el líquido se ha concentrado.

Si, por el contrario, por algún procedimiento sacamos de la solución de 300 mOsm/L una masa de SOLUTO PURO, la solución que queda en el recipiente tendrá una osmolaridad MENOR a los 300 mOsm/L, será hipotónica con respecto al valor inicial y diremos que el líquido se ha DILUIDO.

El riñón funciona de una manera similar, pero, en vez de ser un recipiente con un volumen determinado, es un sistema donde hay un FLUJO DE SANGRE. Del plasma que contiene esa sangre, a nivel de los GLOMERULOS se filtra agua, sustancias electrolíticas y no electrolíticas, pero no proteínas. Este líquido filtrado entra en el sistema tubular, donde una parte de su volumen es reabsorbido por el epitelio tubular, pasando a la sangre de los capilares que rodean los túbulos (Fig. 3.3). Si el fluido que se reabsorbe tiene una osmolaridad IGUAL a la del líquido que hay en el interior de los túbulos, obviamente lo que sale por el extremo distal de los túbulos estará reducido en volumen, pero será isotónico con respecto al líquido filtrado, formándose ORINAS ISOTONICAS (Fig. 3.4a). Si el líquido que se reabsorbe a través de la pared tubular, es hipotónico, lo que queda en la luz es hipertónico y aparecerán ORINAS HIPERTONICAS (Fig. 3.4b). Por último, si el líquido reabsorbido es de alta osmolaridad, lo que queda será hipotónico y habrá ORINAS HIPOTONICAS (Fig. 3.4c).

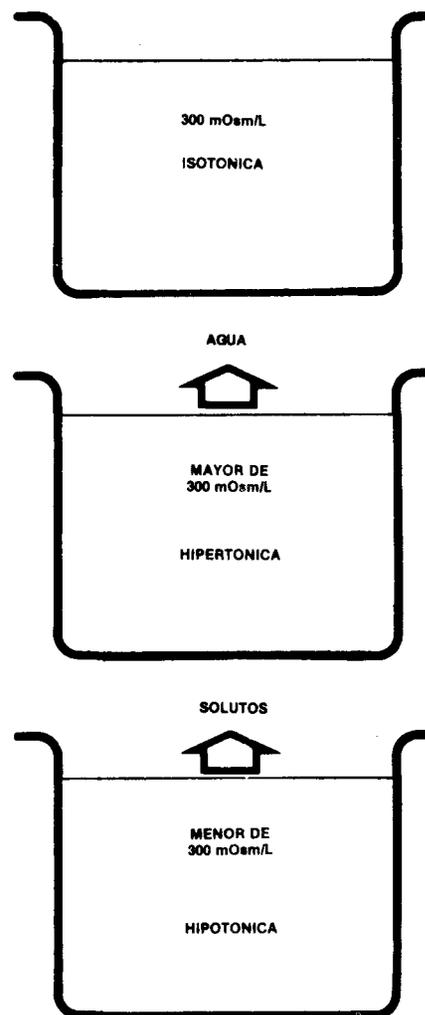


FIG 3.2 CONCENTRACION Y DILUCION DE UNA SOLUCION CUANDO, A PARTIR DE UNA SOLUCION ISOTONICA (PANEL SUPERIOR) SE SACA, PROPORCIONALMENTE, MAS AGUA QUE SOLUTO (PANEL MEDIO) LA SOLUCION SE HACE HIPERTONICA CON RESPECTO A LA SOLUCION INICIAL. CUANDO SE SACA, PROPORCIONALMENTE, MAS SOLUTOS QUE AGUA, (PANEL INFERIOR) LA SOLUCION REMANENTE SERA HIPOTONICA

## - Filtración y reabsorción

En los riñones de un hombre adulto se producen unos 120 mL de filtrado glomerular POR MINUTO (FG = 120 mL/min). Esta es una cifra bastante CONSTANTE e independiente de, por ejemplo, la ingesta de agua. Este volumen filtrado significa la salida a los túbulos renales de 172800 mL POR DIA.

Si ahora colocamos los extremos del volumen urinario que mencionamos en el párrafo 3.3, podremos comprender que el riñón del hombre funciona SIEMPRE REABSORBIENDO AGUA.

En el bebedor de cerveza se filtran por día 172800 mL y, salen los túbulos, como orina, 15000 al. Por lo tanto:

$$\text{volumen urinario} = \text{volumen filtrado} - \text{volumen reabsorbido}$$

$$\text{y volumen reabsorbido} = \text{volumen filtrado} - \text{volumen urinario}$$

$$= 172800 \text{ mL/día} - 15000 \text{ mL/día}$$

$$= 157800 \text{ mL/día} = 157,8 \text{ L /día}$$

En este hombre se ha reabsorbido el 90,87% del volumen filtrado y se ha excretado el 0,2%.

En el caso del hombre desprovisto de agua y sudando, que orina apenas 350 mL por día, la situación sería:

$$\text{volumen reabsorbido} = 172800 \text{ mL/ día} - 350 \text{ mL/ día} = 172450 \text{ mL/día}$$

$$= 172,45 \text{ L/día}$$

En este hombre, se ha reabsorbido el 99,8% de lo filtrado y se excreta el 0,2%.

Sin llegar a esos extremos, en la vida habitual, con un volumen urinario de 1500 mL/día, se reabsorbe el 99,13% de lo filtrado y se excreta el 0,87%.

En todos los casos ha habido REABSORCION de agua. ¿Cómo entonces, el riñón REGULA la cantidad de agua que se excreta? Reabsorbiendo más o menos agua, pero SIEMPRE reabsorbiendo.

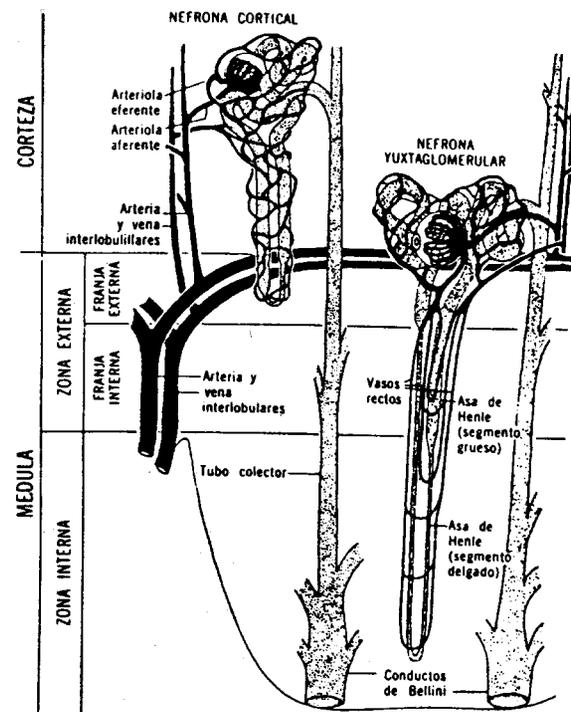


FIG 3.3 DISPOSICION DE LOS VASOS SANGUINEOS Y LOS TUBULOS EN EL RIÑON DE MAMIFERO. DURANTE LA REABSORCION PARTE DEL FLUIDO FILTRADO PASA A LOS TUBULOS Y DE ALLI A LOS CAPILARES PERITUBULARES

**- Concentración de la orina y evolución**

La aparición, en la evolución, de animales con capacidad de producir orinas que sean hipertónicas con respecto a su plasma, ha sido un gran paso adelante en la independencia del animal con respecto al hábitat. Un sapo, por ejemplo, no puede fabricar, por las características de su riñón, orinas hipertónicas. De ese modo, su capacidad de ahorrar agua es escasa y sus posibilidades de alejarse de la charca donde vive, muy pocas. Hay animales, por el contrario, que tienen una muy elevada capacidad de concentrar la orina. El *Psammomys*, una rata que vive en el desierto, por ejemplo, produce orinas de más de 3000 mOsm/L. Esta rata puede vivir sin beber agua, con tan sólo el agua que le aportan los alimentos y la que produce metabólicamente y así podrá vagar por el desierto. En el hombre, por su parte, aun cuando se encuentre en condiciones extremas, la orina sólo puede llegar a tener una osmolaridad de 1200-1400 mOsm/L.

**- Osmolaridad máxima y volumen mínimo de orina en el hombre**

Esta OSMOLARIDAD URINARIA MAXIMA determina que exista, al mismo tiempo, un volumen urinario mínimo que no puede ser inferior a los 300 mL por día.

Veamos por qué. La orina es la vía obligada de excreción de algunos solutos, principalmente urea, sodio, potasio y amoníaco. Si el hombre está, como es habitual, comiendo una dieta mixta, estos solutos representan unos 900 mOsm por día, que DEBEN ser excretados por la orina. Aun cuando no beba agua, debe "poner" esos 900 mOsm de solutos en un cierto volumen de orina. Como la osmolaridad máxima de la orina es de 1200-1400 mOsm/L, se puede comprender que los 900 mOsm de solutos deban ser eliminados en, aproximadamente, 700 mL de agua.

Supongamos, ahora, que el hombre no BEBE y tampoco COME nada. De todas maneras sigue produciendo solutos, provenientes, principalmente, del desdoblamiento de las proteínas de su propio cuerpo, que TIENEN que ser eliminados por orina. Estos solutos del ayuno son unos 250 a 350 mOsm/día. Si lo máximo que puede concentrar es hasta 1200 mOsm/L, el volumen urinario que contenga 250 mOsm, será:

$$1200 \text{ mOsm} \dots\dots\dots 1 \text{ litro}$$

$$250 \text{ mOsm} \dots\dots\dots x = 0,208 \text{ L} \sim \bullet 200 \text{ mL}$$

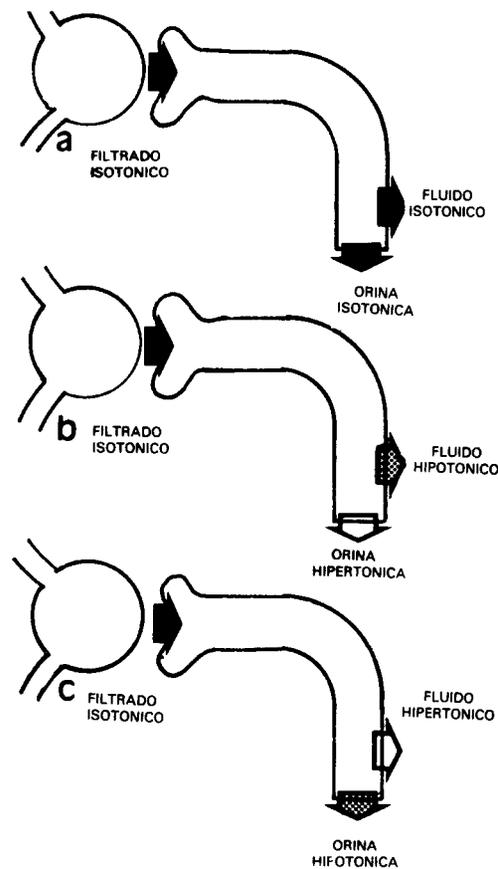


FIG 3.4 MECANISMO RENAL POR EL CUAL SE FORMAN ORINAS DE DIFERENTE CONCENTRACION. a) EN EL CASO DE QUE SE REABSORBA EN LOS TUBULOS UN FLUIDO ISOTONICO, LA ORINA SERA ISOTONICA. b) SI SE REABSORBE UN FLUIDO HIPOTONICO LA ORINA SERA HIPERTONICA. c) SI SE REABSORBE UN FLUIDO HIPERTONICO, APARECE UNA ORINA HIPOTONICA

y ese será el volumen que está obligado a excretar por día

El *Psammomys*, con una osmolaridad urinaria máxima mayor a los 3000 mOsm/L, puede eliminar sus solutos en un volumen muy pequeño. En realidad, de orina de este animal es más una pasta sólida que una solución.

**2) PERDIDAS INSENSIBLES.** Los egresos de agua del compartimiento corporal llamados **pérdidas insensibles** están determinados por el volumen de agua que se pierde, en cada respiración, por vía pulmonar, y el volumen que se evapora continuamente a través de la piel. En ambos casos hay pérdida de AGUA PURA, sin solutos que la acompañen, y están relacionados con la TEMPERATURA corporal y la humedad ambiente. No pueden considerarse volúmenes que **regulen** el balance de agua: se pierde agua por la piel y la respiración, pero sin relación directa, por ejemplo, con la ingesta de agua. Son PERDIDAS, claro está, y deberán ser tenidas en cuenta a la hora de sumar el agua que ingresa y el agua que egresa del cuerpo.

- **Pérdida de agua por respiración.** Un hombre adulto inspira y expira unas 12 veces por minuto un volumen de aire atmosférico de alrededor de 500 al. El aire inspirado tiene un porcentaje de agua que es variable, de acuerdo a las condiciones del lugar donde se encuentre. Sin embargo, el aire espirado está siempre saturado de vapor de agua (100% de humedad). Esto es debido a que el aire, a nivel alveolar (ver Cap. 7), equilibra su presión de vapor con la presión de vapor del agua plasmática (47 mm Hg). Si uno viviera en una atmósfera con 100% de saturación de vapor de agua, inspiraría un aire húmedo y espiraría un aire igualmente húmedo: no ganaría ni perdería, por esta vía, agua. Como, por lo general, el aire atmosférico tiene menos de 100% de saturación, al pasar por los pulmones se agrega agua y esa agua SE PIERDE en cada respiración.

Un hombre adulto, en un clima moderado, pierde entre 250 y 800 mL de agua por día por la respiración. Los factores que más claramente influyen en esta pérdida de agua son:

**a) Frecuencia respiratoria:** a mayor frecuencia respiratoria, mayor pérdida de agua. Tiene mucha importancia en los pacientes con TAQUIPNEA, por trastornos del sistema nervioso central, por ejemplo.

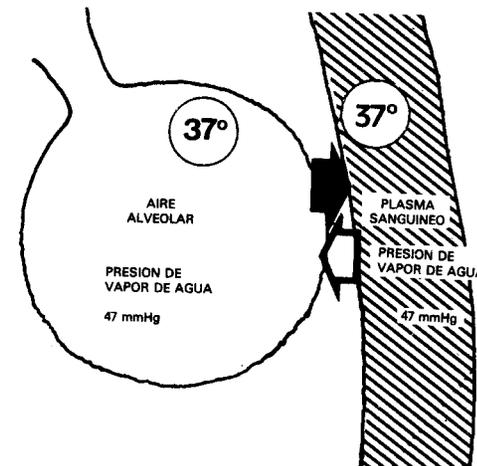


fig 3.5 EQUILIBRIO ENTRE LA PRESION DE VAPOR ALVEOLAR Y SANGUINEA A 37 C. LA PRESION DEL PLASMA, COMO LA DE CUALQUIER SOLUCION ACUOSA DILUIDA ES, APROXIMADAMENTE, DE 47 mm Hg Y SE EQUILIBRA CON LA PRESION DE VAPOR DEL AIRE ALVEOLAR Y TENDRA EL MISMO VALOR EN EL AIRE ESPIRADO

**b) Fiebre:** el aumento de la temperatura corporal determina un aumento de la pérdida de agua por la respiración, debido, principalmente, a la mayor frecuencia respiratoria.

**c) Temperatura ambiente:** su efecto es algo complicado, pero en ambientes muy cálidos y secos el pulmón puede ser una vía importante de pérdida de agua. Recuérdese, para tener una idea de esto, el caso del perro. Este animal tiene muy pocas glándulas sudoríparas, el sudor no le ayuda, como al hombre, a perder calor. Por el jadeo, el perro elimina calor y, obviamente, agua.

**d) Humedad ambiente:** un aumento de la humedad en el aire atmosférico hará que las pérdidas de agua, por vía respiratoria, sean menores.

#### - Pérdida insensible por la piel

Esta pérdida de agua es llamada también PERSPIRACION y es simplemente la evaporación de agua a través de TOOA la superficie la piel. No debe confundirse con la SUDORACION, que es la secreción de las glándulas sudoríparas de la piel y que ocupan un porcentaje relativamente pequeño de la superficie corporal. Mientras que la sudoración ocurre aun en reposo cuando la temperatura ambiente se acerca a los 37 °C, la perspiración ocurre a cualquier temperatura ambiente.

***Para usar una cifra manejable, digamos que un hombre adulto sano , en un ambiente a 20 °C, pierde por perspiración unos 600 mL de agua al día.***

En la medida en que se trata de una difusión de agua a través de la piel, estará influenciada por la humedad ambiente y el movimiento del aire. Si el aire alrededor del sujeto está quieto se forma una capa agua no evaporada adyacente a la superficie cutánea, disminuyendo la evaporación.

La pérdida de agua por la respiración, la pérdida insensible de agua por la piel y la sudoración son mecanismos relacionados con la pérdida de CALOR. Esto es debido a que en los tres hay un cierto volumen de agua corporal que pasa del estado líquido, como se encuentra en el interior del cuerpo, al estado gaseoso (vapor de agua), en el exterior. Este cambio de estado del agua implica la LIBERACION de una cantidad de energía,

**¿QUE ES PRESION DE VAPOR?** En la superficie de un líquido se establece una INTERFASE que puede ser, es una interfase agua-aire. Siempre que la temperatura del agua sea superior a los 0 grados Kelvin, habrá moléculas de agua que del líquido pasan al aire. Cuando estas moléculas de agua están en la fase gaseosa se las llama VAPOR DE AGUA. Cuanto mayor sea la temperatura del agua, mayor será la cantidad de moléculas de agua que, en la unidad de tiempo, pasen a ser vapor. Estas moléculas de agua en forma de vapor ejercen una PRESION de la fase gaseosa a la fase acuosa. En esas condiciones y para esa temperatura, existirá un valor de presión del vapor de agua que haga que el flujo de moléculas del aire al agua sea igual al flujo de moléculas de agua al aire: el flujo neto es cero y el sistema está en equilibrio. La PRESION DE VAPOR a 100 °C (ó 373 K) es de 760 mm Hg, el agua HIERVE, ya que, si estamos a nivel del mar, con una presión atmosférica de 760 mm Hg, NO puede existir ninguna molécula en estado líquido. A 37 °C, la presión de vapor del agua es de 47 mm Hg. En síntesis, la PRESION DE VAPOR mide la tendencia de las moléculas de agua a escapar hacia la fase gaseosa. **HUMEDAD RELATIVA** El término no es más que una manera de medir la PRESION DE VAPOR que hay en un ambiente dado. Supongamos que estamos en un cierto ambiente y decimos que hay HUMEDAD en el aire que nos rodea. Esto es una sensación vinculada con la concentración de moléculas de agua (PRESION DE VAPOR DE AGUA) que haya "flotando" en el aire. Por cada temperatura hay un MAXIMO de humedad posible, ya que si se trata de meter más moléculas de vapor éstas se condensan y aparece agua en su forma líquida. Ese máximo de humedad se llama SATURACION y se dirá que el medio tiene "100% de humedad". ¿Cuándo hay 100% de humedad? Cuando la presión de vapor de agua EN LA ATMOSFERA (Presión parcial del vapor de agua) es IGUAL a la presión de vapor de agua que corresponde a esa temperatura.

**Humedad relativa (%) =  $P_{\text{parcial}} / P_{\text{vapor}} \times 100$**

Si en un ambiente a 37 °C hay 20 mm Hg de Presión parcial de vapor de agua, como la presión de vapor, a esa temperatura es de 47 mm. Hg., la humedad relativa será del 42%. Es por todo esto que se dice que el aire que sale del alvéolo sale "SATURADO DE VAPOR DE AGUA".

llamada CALOR DE VAPORIZACION. También se lo puede encontrar en los libros de Física como CALOR LATENTE DE CAMBIO DE ESTADO. La pérdida, por parte de una cierta masa, de una cantidad de calor, determina que la temperatura de esa masa disminuya. **POR CADA KILOGRAMO O LITRO DE AGUA EVAPORADA HAY UNA PERDIDA DE 539 kcal.**

**3) SUDORACION.** La sudoración puede llegar a ser una muy importante vía de pérdida de agua del compartimiento corporal. Como en los casos de pérdida insensible por pulmón y por piel, no debe considerarse un mecanismo de regulación del balance de agua ya que no está en relación con las entradas y salidas de agua, sino con la producción y pérdida de CALOR. Para los habitantes de los climas fríos o templados, el sudor relacionado con la pérdida de calor sólo aparece en condiciones de esfuerzo físico. Para los que viven en climas cálidos, es un componente habitual de su balance de agua y deber sumarse siempre a los egresos enumerados en 3.3. Esta pérdida de agua determinará, como se comprende, que para mantener el balance se deba aumentar el agua de bebida. El volumen del sudor varía con la temperatura ambiente y con la actividad que desarrolle el individuo. Por eso no es posible dar cifras fijas el volumen que se pierde por sudor un hombre que vive en el trópico, por ejemplo, o del volumen de agua que debe beber para compensar la pérdida. A modo de ejemplo, y adelantándonos a lo que veremos luego, diremos que un hombre caminando al sol en un clima seco, como el del desierto, puede llegar a perder hasta 4 litros de sudor en 1 hora

- **Origen del sudor.** Mientras la perspiración, como dijimos, se realiza a través de **toda** la piel, la sudoración aparece en el exterior del cuerpo por **poros** de la piel que corresponden a los extremos distales de las glándulas sudoríparas.

Las glándulas sudoríparas son de dos tipos:

- GLANDULAS ECRINAS
- GLANDULAS APOCRINAS

Las glándulas ecrinas están distribuidas, aunque en grado variable, por todo el cuerpo y son las que nos interesan, ya que, por el volumen de su secreción de agua y sales pueden alterar el balance hidrosalino del individuo.

### **HIPO-OSMOLALIDAD PLASMÁTICA EN LOS GRANDES BEBEDORES DE CERVEZA**

Cualquier persona sana puede tomar la cantidad de agua que quiera y se mantendrá sana y en balance, ya que excreta la misma cantidad de agua Y de solutos que ingiere. Hay, incluso, un cuadro psiquiátrico llamado "Polidipsia psicogénica" en el que la persona se alimenta normalmente pero bebe, sin haber un motivo aparente, 10 ó 15 litros de agua por día. Aun así, su osmolaridad plasmática se mantiene dentro de rangos normales. Por el contrario, si esta persona SOLO bebe agua y NO COME nada durante el día, puede desarrollar una hipo-osmolaridad plasmática, Este cuadro se lo ha visto también en grandes bebedores de cerveza que toman varios litros el día y no comen: se la conoce en la literatura inglesa como "Beer potomania". La causa de esta hipo-osmolaridad es bastante sencilla: del mismo modo que hay una capacidad máxima para CONCENTRAR la orina (1200-1400 mOsm/L en el hombre), hay también una capacidad máxima de DILUIR la orina y ésta se encuentra alrededor de los 60 mOsm/L. La persona que bebe y COME puede tomar 15 litros y excretar 900 mOsm/día, con lo que su orina tendría 900 mOsm/ 15 L = 60 mOsm/ L. El que no come TIENE que excretar 300 mOsm/ día: el producto diario de su catabolismo proteico. Si orina 8 litros, como cada litro no puede tener menos de 60 mOsm/L, estará excretando 8 L . 60 mOsm/ L = 480 mOsm: tiene un BALANCE NEGATIVO de 100 mOsm/L. Esto lo ha de llevar a un cuadro de hipo-osmolaridad plasmática. La moraleja que extrae, frente a este cuadro, D. Fenestil en el libro "Disturbance in Body Fluid Osmolality" (American Physiological Society, 1977) es muy interesante: "Salt your beer!" (Sale su cerveza, lo que hacen en México con la "Tecate" .

Las glándulas apocrinas están localizadas preferentemente en las axilas y el pubis y su conducto desemboca siempre en el folículo pilosebáceo (Fig. 3.6). Su secreción comienza recién en la pubertad y es de un olor característico. Las glándulas apocrinas no participan de manera significativa en la regulación de la temperatura corporal, ya que el volumen de su secreción es pequeño. De ese modo, impedir su secreción por el uso de antisudorales no parece tener influencia sobre el balance de agua o de calor, pero cumple, sin duda, una muy importante y beneficiosa función en la convivencia social.

#### - Funcionamiento de las glándulas ecrinas

Las glándulas ecrinas (también llamadas meracrinas) tienen una distribución que va desde unas 60 glándulas por cm<sup>2</sup>, en el muslo, hasta unas 350 por cm<sup>2</sup> en la frente, con un total de 2 a 4 millones en todo el cuerpo. Están constituidas, como muestra la Fig. 3.6, por un tubo único con el extremo distal abocado a la superficie de la epidermis. Por el otro extremo, que es cerrado, el tubo se arrolla sobre sí mismo, formando una ovilla ubicada en la dermis. Funcionalmente pueden distinguirse 2 partes en este tubo: la porción secretoria y la porción reabsortiva. En la primera, el agua y los solutos pasan de la sangre que irriga la glándula a la luz tubular. En segunda, parte del líquido secretado es transferido desde la luz a la sangre. Ambas porciones están ubicadas en la parte de la glándula en forma de espiral.

La secreción del sudor es un PROCESO ACTIVO, con participación una ATPasa Na<sup>+</sup>/ K<sup>+</sup> dependiente, sensible a la ouabaina, que está localizada en la membrana basolateral del epitelio tubular. El sistema de acople entre el bombeo de agua y solutos propuesto para estas glándulas es el mismo que, en general, se aplica a los epitelios que mueven grandes cantidades de agua (ver Capítulo 4).

#### - Volumen y composición del sudor

El sudor está constituido SIEMPRE por una solución HIPOTONICA con respecto al plasma. Lo que puede variar es el grado de hipotonicidad, pero nunca supera los 100-150 mOsm/L y puede llegar, en algunos casos, a tener menos de 30 mOsm/L.

El VOLUMEN del sudor está directamente relacionado con el balance calórico del individuo. Cuando la temperatura ambiente supera

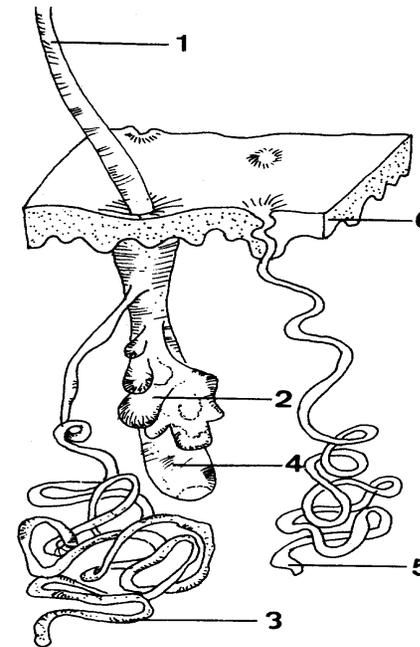


FIG 3.6 LAS GLANDULAS SUDORIPARAS DE LA PIEL. 1) PELO; 2) GLANDULA SEBACEA; 3) GLANDULAS SUDORIPARAS APOCRINAS: ESTAN LOCALIZADAS EN PUBIS Y AXILAS, SU CONDUCTO DESEMBOCA EN EL FOLICULO PILOSEBACEO, SU SECRECION COMIENZA EN LA PUBERTAD, ES DE OLOR CARACTERISTICO Y POR SU ESCASO NUMERO NO CONTRIBUYEN SIGNIFICATIVAMENTE EN LA REGULACION DE LA TEMPERATURA CORPORAL . 4) FOLICULO PILOSO. 5) GLANDULA SUDORIPARA ACRINA: DESEMBOCA DIRECTAMENTE EN LA SUPERFICIE DE LA PIEL Y PARTICIPA EN LA REGULACION DE LA TEMPERATURA CORPORAL A TRAVES DEL SUDOR. 6) EPIDERMIS

los 37 °C, la sudoración es el UNICO mecanismo que le permite, al hombre, perder calor ( Ver la Nota Aparte: Mecanismos para la pérdida de calor). La EVAPORACION de 1 litro de sudor, como el de 1 litro de agua, significa, como sabemos, la pérdida de 539 kcal.

La sudoración responde a un sistema de termorregulación constituido, por una parte, por receptores a la temperatura ubicados en piel y en el interior del cuerpo. Estos receptores están conectados por vías aferentes nerviosas a un núcleo ubicado en el hipotálamo anterior. De allí, los impulsos eferentes son llevados a las glándulas sudoríparas a través del sistema nervioso autónomo principalmente por vías parasimpáticas y un mediador colinérgico. Sin embargo, las glándulas pueden también aumentar su secreción por acción de la adrenalina, que es un agonista simpático. (Ver Nota aparte: El sudor frío)

Hay, también. una regulación local del sudor, determinada por temperatura de la piel que rodea la glándula.

- **Aclimatación al calor y sudoración.** Sería sencillo decir que, cuanto mayor sea la temperatura ambiente mayor será el volumen de sudor, pero hay que tener en cuenta el tiempo que lleva el individuo viviendo en un ambiente de alta temperatura. Supongamos que un habitante de Londres es trasladado en avión a Maracaibo. Esta persona deberá, rápidamente, comenzar a sudar para mantener el balance térmico. No es raro verlo perder unos de 500 mL de sudor en 1 hora. Luego, vendrá un período de ACLIMATACION de unos 15 a 30 días, en el que las glándulas desarrollan mecanismos que le permiten la secreción de un volumen MAYOR de sudor.

Colocado en condiciones bastantes severas, un sujeto no aclimatado puede perder 1,5 litros en 1 hora y en las mismas condiciones, perder 2,5 litros, en el mismo lapso, cuando se ha aclimatado.

Como se comprenderá, la persona aclimatada está, de ese modo, más protegida frente un posible aumento de la temperatura corporal. Así, los no-aclimatados desarrollan, con más frecuencia, cuadros hipertérmicos conocidos como INSOLACION y GOLPE DE CALOR.

Este concepto de ACLIMATACION como la posibilidad de **sudar más** está, aparentemente, en contradicción con la afirmación popular de que los que nacieron y vivieron siempre en una zona cálida sudan menos que los llegados de fuera. Esta afirmación es cierta y parece estar relacionada con una mayor eficiencia del mecanismo de producción del calor, así como una modificación de los métodos y ritmos de trabajo.

## MECANISMOS PARA LA PERDIDA DE CALOR

Los animales HOMEOTERMOS, como el hombre, mantienen una temperatura corporal constante, pese a que en el exterior la temperatura sea tan baja como 12 °C o tan alta como 60 °C. Este constancia es el resultado, como para tantas otras cosas, del balance entre entradas y salidas. El hombre PRODUCE calor como un resultado secundario de sus procesos metabólicos y lo debe PERDER en la misma cantidad. Para estas pérdidas dispone de 4 mecanismos básicos.

- RADIACION
- CONDUCCION
- CONVECCION
- EVAPORACION

La RADIACION es el calor que es emitido por el cuerpo en forma de radiación INFRARROJA. Si la temperatura ambiente es mayor que la temperatura corporal, el cuerpo no perderá calor por radiación sino que lo ganará, ya que los cuerpos que lo rodean también la emiten. La CONDUCCION del calor ocurre entre dos cuerpos en contacto directo y, para el caso del hombre, la mayor parte del calor se conduce por el AIRE que rodea su cuerpo. Sin embargo, si éste no se mueve, rápidamente adquiere la temperatura del cuerpo y no se pierde más calor por esta vía. Si hay una corriente de aire, esta renovación del aire, que se llama CONVECCION, aporta aire "nuevo", con capacidad de conducir y el mecanismo de conducción vuelve a ser eficiente. Si la temperatura del aire es mayor de 37 °C, obviamente se conduce de la atmósfera el hombre y no al revés. La EVAPORACION es la transformación del agua en vapor y es el único que funciona a temperaturas ambientes superiores a los 37 °C, siempre que el aire no esté SATURADO de vapor de agua. Un VENTILADOR no baja la temperatura ambiente, pero aumenta la convección y ayuda a la evaporación, permitiendo una mayor pérdida de calor por el cuerpo del sujeto.

. En un grupo de soldados británicos, estudiados en el desierto de Adén, la producción de sudor aumentó durante las dos primeras semanas de llegados al lugar, para declinar luego. Habría, entonces, dos fases en la aclimatación al calor. Una primera, rápida, de aumento del volumen de sudor que posibilitaría una mayor pérdida de calor, y una segunda de adaptación de los mecanismos producción de calor.

**Sudor y ejercicio.** El sudor está regulado por la temperatura en los receptores de la piel y el interior del cuerpo. Por eso, si bien la temperatura externa es un factor importante para la producción del sudor, una mayor producción endógena de calor también determina un mayor volumen de sudor. En una carrera de 5000 metros, por ejemplo, un atleta tendrá una producción EXTRA de calor del orden de las 350 kcal. Este exceso se eliminará por medio del sudor.

En la **COMPOSICION del sudor** intervienen la mayoría de los componentes del plasma, pero en una concentración MENOR. Una excepción a esta regla la constituye el  $K^+$ , que puede llegar a tener, en el sudor, una concentración de 50 mEq/L, mientras que la concentración en plasma es de 4,5 mEq/L. Sin embargo, esta alta concentración de  $K^+$  en el sudor sólo se llega a observar cuando el volumen de sudor es bajo. Por lo tanto, difícilmente puede ocurrir una pérdida importante de  $K^+$  corporal por esta vía.

El  $Na^+$ , por su parte, está presente, con sus aniones acompañantes, en el sudor y su salida del extracelular sí puede determinar alteraciones en el volumen y composición del medio interno. La aclimatación determina que la concentración de  $Na^+$  en el sudor disminuya progresivamente. Así, una persona no aclimatada puede llegar a tener 50 o más mEq/L de  $Na^+$  en su sudor, mientras que una persona aclimatada, en las mismas circunstancias, puede producir un sudor con 10-15 mEq/L. Esta capacidad de ahorrar  $Na^+$  del sudor por la aclimatación, se ve disminuida cuando los volúmenes de sudor son altos. Si bien las personas aclimatadas siguen teniendo CONCENTRACIONES de  $Na^+$  bajas, como su flujo de sudor es mayor, la MASA de  $Na^+$  perdida puede ser alta. (Fig. 3.7). De los otros componentes del plasma, la glucosa, por ejemplo tiene en el sudor una concentración variable entre 0 y 6 mg/ 100 mL, cuando la concentración plasmática es de 100 mg/ 100 mL. En el sudor hay una cierta cantidad de proteínas, pero que difícilmente sobrepasa los 100 mg/ 100 mL, contra 7 g/ 100 mL, en plasma.

### SUDOR FRIO

Todos sabemos, porque lo hemos experimentado, lo que es sudar cuando hace calor o se hace un ejercicio. La piel está enrojecida y caliente, indicando que hay una vaso dilatación cutánea, uno de los mecanismos que han de favorecer la pérdida de calor: sería como abrir la válvula del radiador de un auto. En esas condiciones, el sudor es un líquido, también caliente, con baja osmolaridad. Una situación diferente es el sudor que se asocia, en las personas sanas a los llamados cuadros "vaso-vagales": un estudiante de medicina que ve por primera vez un cadáver, una extracción de sangre o ante cualquier otra situación emocional, se pone pálido, se siente confuso, la visión se hace borrosa, bostezo repetidamente y comienza a sudar, pero con la piel fría (SUDOR FRIO) El líquido del sudor es más viscoso y se adhiere a la piel. Estos cuadros son bastante frecuentes y corresponden a descargas del parasimpático, con intensa vasodilatación periférica, bradicardia e hipotensión. Los cuadros más severos aparecen cuando el sujeto está de pie, condición en la que se agrega una disminución del retorno venoso y de la irrigación cerebral. Esto puede llevar a lo que se conoce como síncope o lipotimia. El sujeto por lo general se recupera cuando se acuesta o cae al suelo. Una buena maniobra, frente a estos casos es, estando el sujeto acostado, elevar sus piernas. Esto movilizará un buen volumen de sangre hacia los territorios centrales. Una mala maniobra es tratar de ponerlo de pie, con la excusa de que el suelo está frío o sucio o que ... "Pobre, como lo vamos a dejar en el suelo..." Como todas las cosas en que interviene el sistema autónomo, la voluntad tiene poco que ver. Es una situación médica en la que hay que ayudar al paciente

#### 4) HECES

Las materias fecales, en el hombre, tienen un contenido de agua relativamente bajo, por lo que se eliminan, por esta vía, unos 200 a 300 mL de agua por día. En una persona sana que no reciba agua, el contenido de agua de las heces baja aún más. Así, si tuviéramos que evaluar las pérdidas de agua de un sujeto que está sin beber desde hace varios días en el desierto, podríamos decir, sin equivocarnos, que la pérdida de agua por esta vía es nula. El intestino se convierte en la VIA PRINCIPAL de pérdida de agua en las DIARREAS. En Latinoamérica y en todos los países en que un porcentaje elevado de la población vive en condiciones extremas de pobreza, las diarreas son la principal causa de muerte en niños menores de 3 años. La causa más frecuente de estas diarreas es la contaminación del agua de bebida por *Vibrio cholerae*, originalmente sólo en Asia y ahora en toda Latinoamérica y por *Escherichia coli*, Salmonellas y rotavirus. Otro elemento importante es transmisión por la manos de los portadores.

La pérdida de agua de electrólitos por diarreas puede determinar graves alteraciones al medio interno, muchas veces agravada por la aparición simultánea de vómitos. Las diarreas, su origen y consecuencias, serán discutidas en el Capítulo 5, cuando sea tratada la absorción intestinal.

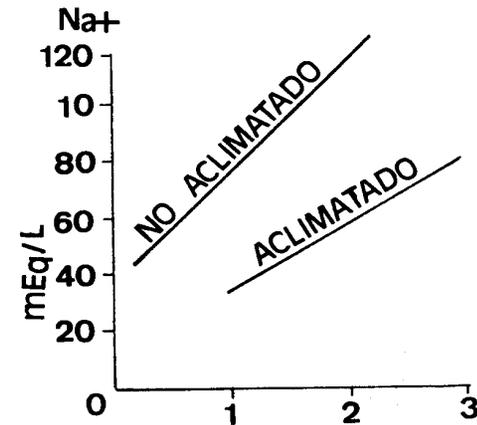


FIG 3.7 RELACION ENTRE LA CONCENTRACION DE  $\text{Na}^+$  EN EL SUDOR Y SU PRODUCCION EN PERSONAS ACLIMATADAS Y NO ACLIMATADAS. (Tomado de Maxwell MH y Kleeman CR: *Clinical disorders of fluid and electrolyte metabolism*. McGraw Hill Book Co., 1980) Nótese que los sujetos aclimatados pueden producir un volumen mayor de sudor y, para la misma producción, la concentración de  $\text{Na}^+$  es menor. Sin embargo, para los efectos del balance debe calcularse la masa de  $\text{Na}^+$  perdida en la unidad de tiempo ( $\text{mEq/L} \times \text{L/hora}$ )

EN ESTE MOMENTO USTED DEBE RESOLVER EL PROBLEMA 1 DEL FINAL DEL CAPITULO

**FIN DE LA PARTE 1 DEL CAPITULO 3, CONTINUA PARTE 2**

# Capítulo 3 **PARTE 2/3**

## 3.4 SITUACIONES QUE DETERMINAN CAMBIOS EN EL BALANCE DE AGUA

Bastará observar nuevamente la Fig. 2.1 para darse cuenta que hay una serie de causas que pueden determinar que el balance de agua de un individuo se vea, aunque sea transitoriamente, alterado. Habrá, en un momento dado, un balance positivo o negativo de agua que los mecanismos homeostáticos se encargarán de restablecer.

Veamos, a modo de ejemplo, tres casos sencillos, todos en personas sanas

- 1) Una persona que bebe, rápidamente, 1,5 litros de agua.
- 2) Un atleta que corre una carrera de media distancia y bebe agua al finalizar.
- 3) Una persona que se pierde en el desierto y no tiene agua para beber.

En cada caso, se hará un análisis detallado de los cambios que ocurren en los volúmenes de los compartimientos intra y extracelular. Otros ejemplos se puede encontrar en los problemas, al final de este capítulo.

### 1) Un hombre que bebe, rápidamente, 1,5 litros de agua

Supongamos que este hombre tiene 65 kg de peso, lo que hace que tenga (ver Cap. 1):

Agua Corporal total:  $65 \text{ kg} \cdot 0,6 = 39 \text{ kg} = 39 \text{ litros}$

Agua EC:  $65 \cdot 0,2 = 13 \text{ litros}$  Agua IC:  $65 \cdot 0,4 = 26 \text{ litros}$

INDICE -- Parte 2	Pág
<b>3.4 SITUACIONES QUE DETERMINAN CAMBIOS EN EL BALANCE DE AGUA</b>	<b>1</b>
- Un hombre que bebe rápidamente 1,5 L de agua	1
- Una atleta que corre un carrera y bebe agua al finalizar	5
- Una persona que se pierde en el desierto y no tiene agua para beber	9
<b>3.5 BALANCE DE SODIO EN EL HOMBRE.: ANALISIS DE LAS VIAS DE ENTRADA Y DE SALIDA</b>	<b>14</b>
- Sodio de los alimentos	14
- Sodio del agua de bebida	15
- Distribución del sodio corporal	16
- Egresos de sodio	16
- Reabsorción y excreción de sodio por el riñón	17
<b>3.6 SITUACIONES QUE DETERMINAN CAMBIOS EN EL BALANCE DE SODIO</b>	<b>19</b>
- Una persona que come 200 g de queso llanero	20
- Una persona que toma furseimida, un potente diurético	23
- Una persona que recibe, por vía endovenosa rápida, 1,5 L de dextrosa al 5%	27

El agua que bebió se absorbe a nivel del intestino delgado, pasando la sangre y, rápidamente, a todo el espacio extracelular. Se puede aceptar que, en un primer momento, hay un AUMENTO del volumen EC.

El volumen EC, luego que bebió los 1,5 litros de agua, **de no haber movimientos entre el EC y el IC**, sería de:

$$\begin{aligned}\text{Volumen EC total} &= \text{volumen EC inicial} + \text{Agua bebida} \\ &= 13 \text{ L} + 1,5 \text{ L} = 14,5 \text{ L}\end{aligned}$$

Como la persona bebió agua sin solutos, se puede considerar que la MASA de solutos extracelulares se mantiene constante y, entonces, al agregar agua, la concentración OSMOLAR disminuye: hay una dilución del medio. Si la concentración osmolar normal es de 290 mOsm/ L, entonces la masa osmolar EC, ANTES de beber el agua, era de:

$$\begin{aligned}\text{MASA EC} &= \text{volumen EC} \cdot \text{concentración Osm EC} \\ &= 13 \text{ L} \cdot 290 \text{ mosm/ L} = 3770 \text{ mOsm}\end{aligned}$$

Ahora, con esta misma masa osmolar, el volumen EC sería de 14.5 litros, por lo que :

$$\text{OSM EC} = \text{Masa EC} / \text{Volumen EC} = 3770 \text{ mOsm} / 14,5 \text{ L} = 260 \text{ mOsm/L}$$

La osmolaridad EC, **SI TODA EI AGUA BEBIDA SE HUBIERA QUEDADO EN EI EC**, habría descendido de 290 mOsm/ L a 260 mOsm/L. Este descenso no llega realmente a ocurrir, ya a medida que desciende la osmolaridad EC aparece un movimiento de agua del EC hacia el IC. El agua fluirá por gradiente osmótico, y determinará que el volumen IC aumente y el volumen EC disminuya. Este FLUJO NETO de agua cesará cuando las osmolaridades IC y EC sean iguales, llegándose al equilibrio. En ese caso, se puede calcular la **concentración de equilibrio**, como se hizo con los recipientes del Cap. 2, considerando al EC y al IC como un solo compartimiento.

La MASA osmolar contenida en el IC es:

$$\text{MASA IC} = 290 \text{ mOsm/L} \cdot 26 \text{ L} = 7540 \text{ mOsm}$$

Entonces:  $\text{MASA Osm total} = \text{Masa EC} + \text{Masa IC}$

$$= 3770 \text{ mOsm} + 7540 \text{ mOsm} = 11310 \text{ mOsm}$$

Por su parte, el AGUA CORPORAL TOTAL será

$\text{AGUA corporal total} = \text{volumen EC} + \text{volumen IC} + \text{agua bebida}$

$$= 13 \text{ L} + 26 \text{ L} + 1,5 \text{ L} = 40,5 \text{ litros}$$

Como, en el equilibrio, la osmolaridad tanto el EC como el IC es la misma

$$C_{\text{eq}} = 11310 \text{ mOsm} / 40,5 \text{ L} = 279 \text{ mOsm/L}$$

Eso quiere decir que la osmolaridad EC e IC que era de 290 mOsm/L antes de beber el agua, bajó a 279 mOsm/L cuando se absorbieron los 1,5 L bebidos. Esto ocurrió pasando por una etapa, rápida y transitoria, en que la osmolaridad EC fue menor que el valor de equilibrio. El volumen del EC, que había aumentado por la bebida, vuelve a descender, mientras el volumen IC aumenta.

#### - Cálculo del cambio en los volúmenes EC e IC

Si tomamos ahora el IC por separado, podemos suponer, por el momento, que las células, durante este proceso, no han ganado ni perdido SOLUTOS. Por consiguiente, tanto antes de hincharse, como después, tienen la misma MASA de osmoles. Entonces, como se hizo en antes

$$\text{MASA IC inicial} = \text{MASA IC final}$$

$$V_i \cdot C_i = V_f \cdot C_f \quad \text{de donde: } V_f = V_i \cdot C_i / C_f$$

$$V_f = \frac{26 \text{ L} \cdot 290 \text{ mOsm/L}}{279 \text{ mOsm/L}} = 27,02 \text{ litros}$$

Si el volumen final del IC es de 27,02 litros y el volumen inicial era de 26 litros, quiere decir que han pasado, del EC al IC, 1,02 litros. De este modo, de los 1,5 litros que el sujeto bebió, 0,408 litros se "quedaron" en el EC y 1,02 se "fueron" al IC.

Si se quiere hacer una prueba para ver si este cálculo está bien realizado, se puede calcular la osmolaridad EC a partir de la masa inicial y el volumen de equilibrio,

$$C_{eq} = \frac{3770 \text{ mOsm}}{13 \text{ L} + 0,480 \text{ L}} = 279 \text{ mOsm/L}$$

- **Respuesta renal.** Este valor de 278 mOsm/ L es la osmolaridad que, en el equilibrio, tendrán TODOS los compartimientos, ya sea el plasma, el intersticial y el intracelular. Es una situación de una osmolaridad MENOR a la que individuo tenía antes de beber el agua. De acuerdo a lo que hemos visto en 3.3, la respuesta renal será producir ORINAS HIPOTONICAS. De ese modo, se eliminará, proporcionalmente, más agua que solutos y los compartimientos volverán a su condición inicial.

Nótese que todo este cálculo se hizo a partir de un sujeto sano y normohidratado. Por supuesto que si el individuo estaba en una condición de déficit de agua, esta respuesta renal de eliminar el agua bebida, no ocurrirá.

- **Representación de acuerdo al esquema de Darrow-Yannet**

El esquema de Darrow-Yannet es una **manera didáctica** de mostrar los cambios que ocurren en los espacio corporales cuando hay factores que los modifican. Básicamente consta de dos ejes (Fig. 3.9): en el eje X se representa el volumen EC y el volumen IC. En el eje Y se representa la osmolaridad de los compartimientos. El área de cada cada de los rectángulos (osmolaridad por volumen), será la masa osmolar, presente en cada una de los compartimientos.

En el panel a) de la Fig. 3.8 está representada la condición de los espacios corporales del sujeto ANTES de beber el agua. En el

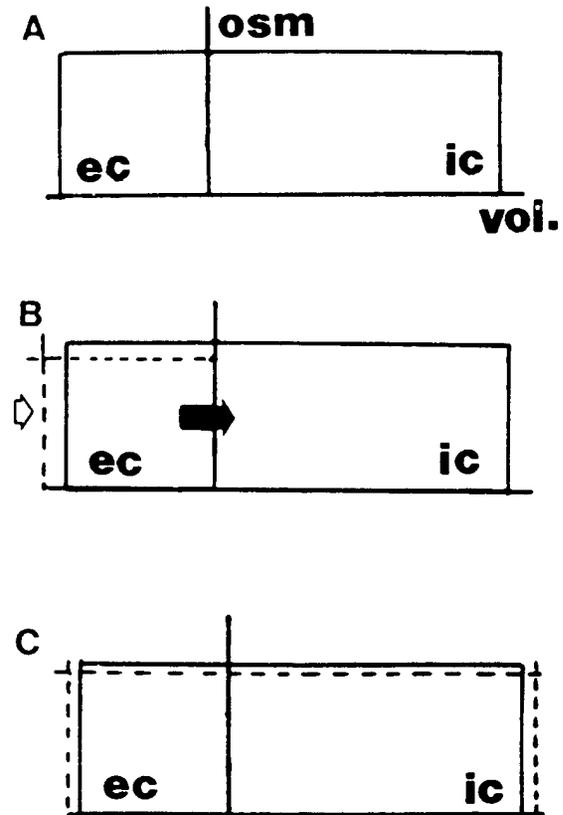


FIG 3.8 REPRESENTACION DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DARROW-YANNET DE LOS COMPARTIMIENTOS CORPORALES DE UNA PERSONA QUE BEBE 1,5 LITROS DE AGUA. (La explicación en el texto)

panel b) se muestra cuando el EC se ha diluido: su volumen ha aumentado, su osmolaridad ha disminuido, hay un flujo de agua del EC al IC, pero las masas EC e IC se han mantenido constante. En el panel c), se ve que se llegó al equilibrio: las concentraciones son iguales, el volumen IC ha aumentado y el volumen EC es menor que en b), pero todavía mayor que en a). Una orina hipotónica determinará la salida de agua del EC, lo que determinará un aumento de su osmolaridad. Entonces, un volumen de agua pasará del IC al EC, la osmolaridad IC también aumentará y todo volverá a la condición que se mostró en a)

## 2) Un atleta que corre una carrera de media distancia y bebe agua al finalizar

Un atleta de 70 kg de peso interviene en la competencia de los 3000 metros y hace un tiempo de 15 minutos. Por el trabajo muscular y la temperatura ambiente, suda 1,2 litros, con una osmolaridad de 85 mOsm/ L. Cuando termina carrera tiene **sed** y bebe 2 litros de agua.

Para estudiar los cambios que ocurren en sus espacios corporales, lo primero es saber cuál es el volumen y la osmolaridad de sus compartimientos IC y EC al finalizar la carrera, sin todavía haber tomado el agua.

### - Cálculo de la osmolaridad extracelular

Si pesaba antes de la carrera 70 kg, su volumen EC será:

$$V_{EC} = 70 \cdot 0,2 = 14 \text{ litros}$$

Si la osmolaridad plasmática y por lo tanto EC, era de 290 mOsm/L, la MASA osmolar extracelular será:

$$\text{MASA}_{EC} = 290 \text{ mOsm/ L} \cdot 14 \text{ L} = 4060 \text{ mOsm}$$

Sabemos que el corredor PERDIO agua y solutos por el sudor, pero también que debe haber perdido por orina, por respiración, por perspiración y por heces. Nadie puede decir que durante la carrera el atleta dejó de producir orina, pero supongamos que en el DIA hubiera tenido un volumen urinario de 1,2 litros. En los 15 minutos

### MECANISMOS DE LA SED

La SENSACION de SED es por todos conocida y es la que nos induce a beber por necesidad. Tenemos sed principalmente cuando la osmolaridad de los fluidos corporales es mayor que la normal. Esta hiper-osmolaridad actúa sobre osmoreceptores ubicados en el hipotálamo. La sed también aparece cuando hay una disminución del volumen del líquido extracelular, aún cuando no haya cambios en la osmolaridad. A su vez, la sed puede ser transitoriamente calmada si se humedece la mucosa de la boca y faringe. Es interesante señalar que el mecanismo de la sed está íntimamente asociado al de la secreción de la hormona antidiurética, por lo que se puede afirmar que en todo individuo sano con sed hay una secreción aumentada de ADH.

que duró la carrera habrá producido 12,4 ml de orina. De los 800 ml diarios atribuibles a las pérdidas insensibles sólo habría eliminado 9,4 ml y el agua de las heces, en ese corto período, es despreciable. Por eso, es posible, sin cometer grandes errores, decir que en este caso hubo un balance negativo de agua y solutos debido sólo al SUDOR.

Por lo tanto, como el sudor salió inicialmente del EC, se puede considerar que el VOLUMEN EC se ve reducido en 1.2 litros y que la MASA OSMOLAR EC estará reducida en:

$$\text{MASA}_{\text{EC perdida}} = \text{volumen}_{\text{sudor}} \cdot \text{Osmolaridad}_{\text{sudor}}$$

$$\text{MASA}_{\text{EC perdida}} = 1.2 \text{ litros} \cdot 85 \text{ mOsm/L} = 102 \text{ mOsm}$$

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{MASA}_{\text{EC}} &= \text{Masa}_{\text{EC inicial}} - \text{Masa}_{\text{perdida}} \\ &= 4060 \text{ mOsm} - 102 \text{ mOsm} = 3958 \text{ mOsm} \end{aligned}$$

$$\text{El VOLUMEN EC será:} = 14 \text{ L} - 1,2 \text{ L} = 12,8 \text{ litros}$$

Ahora será fácil calcular la concentración osmolar del EC como:

$$\text{OSM} = \frac{\text{MASA}_{\text{EC}}}{\text{VOLUMEN}_{\text{EC}}} = \frac{3958 \text{ mOsm}}{12,8 \text{ L}} = 309 \text{ mOsm/L}$$

Como se ve, el atleta perdió una solución HIPOTÓNICA, como es el sudor y, en consecuencia, la osmolaridad de su EC aumentó de 290 mOsm/L a 309 mOsm/L.

#### **- Cálculo de la osmolaridad de equilibrio**

Como las células han mantenido su osmolaridad normal de 290 mOsm/L, habrá un flujo de agua desde el lugar donde el potencial químico de agua es mayor, las células, hacia donde es menor, el EC. Las células perderán volumen y el EC lo ganará.

Nuevamente podemos considerar, para el equilibrio, como si hubiera un solo compartimiento. La osmolaridad de equilibrio resulta de dividir la MASA osmolar EC e IC por el VOLUMEN EC:

$$\text{OSM}_{\text{eq}} = \frac{\text{Masa}_{\text{EC}} + \text{Masa}_{\text{IC}} - \text{Masa}_{\text{sudor}}}{\text{volumen}_{\text{EC}} + \text{volumen}_{\text{IC}} - \text{Volumen}_{\text{sudor}}}$$

$$\text{OSM}_{\text{eq}} = \frac{4060 \text{ mOsm} + 8120 \text{ mOsm} - 102 \text{ mOsm}}{14 \text{ L} + 28 \text{ L} - 1,2 \text{ L}} = 296 \text{ mOsm/L}$$

***Esta división en pasos, en que primero aumenta la osmolaridad EC y luego se mueve agua, es sólo una manera de explicar por qué se llega a la concentración de equilibrio. En realidad, el aumento de osmolaridad y el flujo son simultáneos.***

***El resultado sería el mismo si se hiciera:***

$$\text{OMS}_{\text{eq}} = \frac{(70 \cdot 0,6 \cdot 290) - 102}{70 \cdot 0,6 - 1,2} = \frac{12078 \text{ mOm}}{40,8 \text{ L}} = 296 \text{ mOm/L}$$

***donde 70 es el peso del paciente, 60 el porcentaje del peso corporal ocupado por el agua corporal total (EC + IC), 290 la osmolaridad EC e IC antes de la carrera, 102 los osmoles perdidos, (70 · 0,6) el volumen de agua corporal total y 1,2 el volumen de agua perdido por sudor.***

Por la osmolaridad de equilibrio de 296 mOsm/L sabemos que el atleta llegó a la meta con una osmolaridad aumentada y por lo tanto con SED (Ver Nota aparte: Mecanismos de la sed).

#### **- Cálculo de los volúmenes EC e IC**

El volumen de agua que sale de las células se puede calcular aceptando que, durante la carrera, las células no ganaron ni perdieron SOLUTOS y que, por lo tanto:

$$\text{MASA}_{\text{IC inicial}} = \text{MASA}_{\text{IC final}}$$

#### **DARROW-YANNET Y LA REGULACION DE VOLUMEN CELULAR**

El esquema de Darrow -Yannet y todos los cálculos que se hicieron acerca del volumen y composición de los compartimientos se basan en 2 principios: 1) las células se comportan como un osmómetro perfecto. Esto quiere decir que C.V = constante y si la osmolaridad EC disminuye a la mitad el volumen celular se va al doble; 2) una vez que, por un gradiente osmótico, las células se hinchan o encogen, permanecen en ese nuevo volumen mientras persista la hipo o hipertonicidad externa. Es esto es verdad hasta cierto punto, ya que no considero la capacidad de la célula, por mecanismos activos, de regular su volumen. Una célula tiene, en un momento dado, un cierto volumen y una osmolaridad que es igual adentro que afuera. Sin embargo, adentro, en el interior celular hay proteínas y otros aniones no difusibles. Por Donnan debería existir una tendencia a entrar agua y la célula debería aumentar de volumen. Esto no ocurre, como ya se señaló, por la existencia de un catión, el Na+, que permanece en el exterior celular y actúa como un mecanismo de "contra-Donnan". No interesa que el Na+ sea permeable ya que la bomba impide que la concentración intracelular de Na+ aumente y, por lo tanto, es COMO SI FUERA IMPERMEABLE. ¿Que ocurre si, bruscamente, se coloca a la célula en un medio no-isosmótico? En lo inmediato cambiará su volumen por entrada, o salida de agua, pero, más lentamente, TRATARA de recuperar su volumen. ¿Cómo? Si fue colocada en un medio hipotónico, hay una fase lenta con pérdida de K+, Cl- y agua debida, se piensa, a un aumento de la permeabilidad al K+. Si fue colocada en un medio hipertónico, al encogimiento inicial sigue una fase más lenta de recuperación del volumen por entrada de Na+, debido, se supone, a un aumento de la permeabilidad al Na+. Nada de esto es, evidentemente, tan claro y fácil de entender y los cambios en las permeabilidades son sólo algunos de los elementos ¿Que se quiso decir con que la célula TRATARA de recuperar su volumen? Pues simplemente, que deja de comportarse, en esa fase lenta, como un osmómetro perfecto ya que C.V = Cte. ya no se puede aplicar porque la célula ha ganado o perdido MASA.

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$$

de donde

$$V_f = \frac{290 \text{ mOsm/L} \cdot 28 \text{ L}}{296 \text{ mOsm/L}} = 27,432 \text{ L}$$

Como el  $V_{\text{inicial}}$  del IC era de 28 litros, hubo un pasaje de agua del IC al EC de  $(28 \text{ L} - 27,432 \text{ L}) = 0,568 \text{ litros}$ . Por lo tanto, el EC PERDIO 1,2 litros por el sudor pero GANO 0,567 litros que vinieron del IC. En consecuencia:

$$V_{\text{EC final}} = 14 \text{ L} - 1,2 \text{ L} + 0,567 \text{ L} = 13,367 \text{ L}$$

Como en el caso 1), podemos hacer la comprobación dividiendo la masa que quedó en el EC por este volumen. Nos debe dar un valor igual a la concentración de equilibrio.

$$\text{OSM}_{\text{eq}} = \frac{3958 \text{ mOsm}}{13,367 \text{ L}} = 296 \text{ mOsm/L}$$

**Respuesta renal:** Ante la pérdida de agua y solutos, pero con una osmolaridad EC e IC aumentada, el riñón iniciará mecanismos RAPIDOS destinados a conservar agua. Esto se logra con la producción de orinas HIPERTONICAS.

#### Representación de acuerdo al esquema de Darrow-Yannet

Inicialmente (Fig. 3.9 b) hay una disminución del área EC, representando una disminución de la masa EC, con disminución del volumen y aumento de la osmolaridad. Esta situación de desequilibrio de las osmolaridades EC e IC desaparece por efecto del flujo de agua del IC al EC. En el equilibrio (Fig. 3.9 c), el volumen EC e IC están disminuidos con respecto al valor inicial y la osmolaridad está aumentada

**- Cálculo de los volúmenes y osmolaridades luego de beber el agua al final de la carrera.**

Por la SED que tiene al finalizar la carrera, el corredor bebe 2 litros de agua. Esta es una actitud normal, pero veamos cómo se

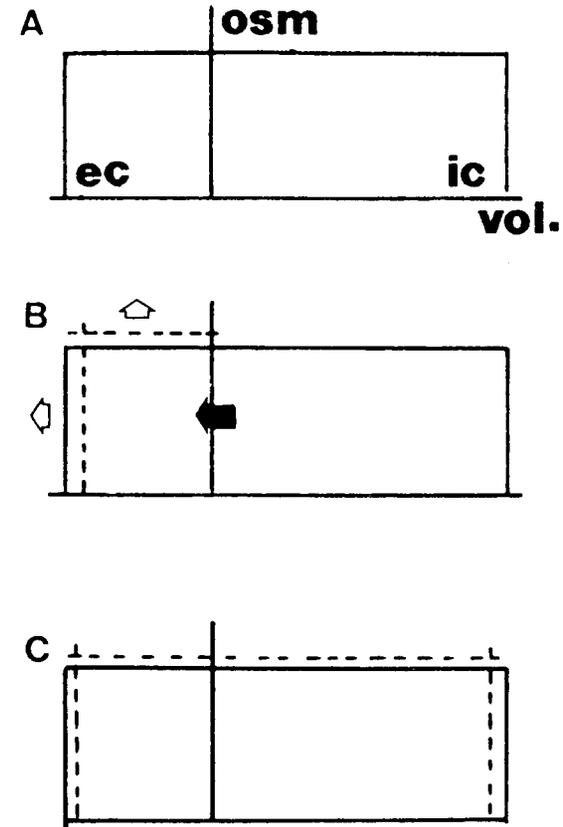


FIG 3.9 REPRESENTACION DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DARROW-YANNET DE LOS COMPARTIMIENTOS CORPORALES DE UN ATLETA QUE CORRE 5000 METROS PLANOS. A) SITUACION INICIAL; B) PIERDE AGUA Y SOLUTOS POR EL SUDOR (FLECHAS CLARAS), PERO COMO EL SUDOR ES UNA SOLUCION HIPOTONICA, LA OSMOLARIDAD **ec** AUMENTA Y SU VOLUMEN DISMINUYE: HAY UN MOVIMIENTO DE AGUA DEL **ic** AL **ec** (FLECHA OSCURA); C) SITUACION DE EQUILIBRIO, CON OSMOLARIDADES AUMENTADAS Y VOLUMENES DISMINUIDOS.

modifican los valores del medio interno. Si tenía, como vimos, al finalizar la carrera un AGUA CORPORAL TOTAL de 40,8 litros, a ese volumen se le agregan ahora los 2 litros de bebida. Por lo tanto, **en el equilibrio**, la concentración osmolar es:

$$OSM_{eq} = \frac{12078 \text{ mOsm}}{40,8 \text{ L} + 2 \text{ L}} = 282 \text{ mOsm/L}$$

En conclusión, el atleta, que terminó su carrera algo deshidratado, al beber los 2 litros de agua recuperó su volumen perdido pero quedó con un plasma, un intersticio y un interior celular con una osmolaridad **menor** a la habitual. Como sabemos que el principal soluto del sudor es el Na<sup>+</sup> podemos asegurar que el individuo ha quedado en una situación de discreta hiponatremia (bajo Na<sup>+</sup> en sangre)

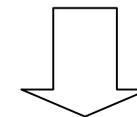
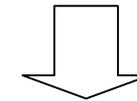
*¿Debió nuestro atleta beber "Gatorade" o algunas de las bebidas similares en vez de agua? Vea la Nota Aparte: Las bebidas para los atletas: ¿verdad o propaganda? También podrá ver que hay muchos otros interesados en las hiponatremias. En la página siguiente, los buenos amigos Charly Brown y Linus tuvieron un problema parecido...¡ y trataron de solucionarlo !*

#### - Respuesta renal

La respuesta renal será, inicialmente, PERDER agua, para restablecer la osmolaridad, produciendo orinas hipotónicas. luego, el riñón comenzará a reabsorber un poco más de Na<sup>+</sup>. El pequeño déficit de Na<sup>+</sup> será corregido al ingerir sal con los alimentos .... ¿o con "Gatorade"? (ver la Nota Aparte: Las bebidas para los atletas: ¿verdad o propaganda?)

#### 3) Una persona que se pierde en el desierto y no tiene agua para beber.

Esta es una situación que estamos habituados a ver en el cine y televisión: el héroe abandona su jeep dañado y emprende la marcha través del desierto. No tiene agua porque los bidones han sido perforados por las balas, y camina y camina bajo un sol



terrible para, luego de VARIOS DIAS de marcha, llegar al soñado oasis. Estamos en condiciones de calcular las modificaciones, en volumen y osmolaridad, que sufrieron los espacios corporales del sujeto tras, por ejemplo, 5 horas de marcha y decidir si hizo bien en emprender esa caminata. Supongamos que nuestro héroe pesaba, al comenzar a caminar, 80 kg y que la composición de sus fluidos corporales era, hasta ese momento, normal. Tiene, entonces:

$$V_{EC} = 80 \cdot 0,2 = 16 \text{ litros} \quad V_{IC} = 80 \cdot 0,4 = 32 \text{ litros}$$

$$\text{AGUA CORPORAL}_{\text{total}} = 48 \text{ litros}$$

$$\text{MASA osmolar}_{EC} = 80 \cdot 0,2 \cdot 290 = 4640 \text{ mOsm}$$

$$\text{MASA osmolar}_{IC} = 80 \cdot 0,4 \cdot 290 = 9280 \text{ mOsm}$$

$$\text{MASA osmolar}_{\text{total}} = 13920 \text{ mOsm}$$

Asignémosle, ahora, valores a los EGRESOS de agua y osmoles y aceptemos que los INGRESOS son sólo los del agua metabólica.

## INGRESOS

$$\text{Agua metabólica} : (300 \text{ ml} / 24 \text{ horas}) \cdot 5 \text{ horas} = 62,5 \text{ ml}$$

## EGRESOS

**1) Orina:** Como el sujeto tiene, al principio, una buena hidratación, supongamos que pierde, en los 5 horas de marcha, 200 ml de orina con una osmolaridad de 500 mOsm/L. Entonces:

$$V_{\text{orina}} = 200 \text{ ml} \quad \text{MASA}_{\text{orina}} = 500 \text{ mOsm/L} \cdot 0,2 \text{ L} = 100 \text{ mOsm}$$

**2) Pérdida insensible.** Suponiendo una pérdida habitual:

$$\text{Agua}_{\text{respiración}} + \text{Agua}_{\text{perspiración}} = 900 \text{ ml} / 24 \text{ horas} = 188 \text{ ml} / 5 \text{ horas}$$

**3) Heces:**  $\text{AGUA}_{\text{heces}} = 200 \text{ ml} / 24 \text{ horas} = 42 \text{ ml} / 5 \text{ horas}$



Reproducido cde Schultz, C. 'Carlitos en Apuros'  
BURULAND, S. A. de Editores, España, 1977

**LA BEBIDA PARA LOS ATLETAS: ¿VERDAD O PROPAGANDA?** El "Gatorade", la más conocida de estas bebida destinadas, según los anuncios, a reponer agua, sales y energía, tiene una concentración de  $\text{Na}^+$  de 45 mg/100 ml ( $\approx 20$  mmol/L),  $\text{K}^+$  10 mg/100 ml ( $\approx 2,5$  mmol/L) y glucosa 6 g/100 ml ( $\approx 333$  mmol/L). Si se observa nuevamente la Fig 3.8 se verá que, salvo por la glucosa, se parece al sudor de una persona no aclimatada que suda moderadamente. Como "sudor embotellado", ¿para qué servirá? Esta pensado para evitar la hiponatremia dilucional, la que ocurre en los atletas que sudan, pierden electrolitos y toman agua al finalizar la actividad, como nuestro atleta de la carrera de media distancia. ¿Cuánto "Gatorade" o bebida similar debió beber para compensar las perdidas de agua y electrolitos? Entre 1 y 2 litros. Bien, en esta caso la bebida es útil. ¿Es imprescindible? No, ya que el agua-agua es más económica y hay muchos alimentos que aportan tanto o más sales. ¿Corre peligro de deshidratación o hiponatremia un pesado jugador que corre de home a primera? Por supuesto que no y es allí donde está la propaganda y .... las ganancias

**4) Sudor.** Supongamos que no está aclimatado y que, de acuerdo a la Fig. 3.7, está sudando 1 litro por hora, con una concentración  $\text{Na}^+$  de 60 mEq/ L, que corresponde, aproximadamente, a una osmolaridad de 120 mosm/ L. Entonces:

$$V_{\text{sudor}} = 5 \text{ litros} / 5 \text{ horas}$$

$$\text{MASA}_{\text{sudor}} = 120 \text{ mOsm} / \text{L} \cdot 5 \text{ L} = 600 \text{ mOm}$$

En base a esos datos, construimos una tabla de BALANCE

	INGRESOS		EGRESOS	
	Agua (ml)	Osmoles (mOsm)	agua (mOsm)	Osmoles (ml)
Agua metabólica	63	0	Orina 200	100
			P. in 188	0
			Heces 42	0
			Sudor 5000	600
	63	0		5430 700

BALANCE DE SOLUTOS: - 700 mOsm

BALANCE DE AGUA: 63 - 5430 ml = - 5367 ml

### MIEDO EN UN PUÑADO DE POLVO

Un buen y divertido relato sobre la supervivencia en el desierto se puede encontrar en la novela de John Ives "*Miedo en un puñado de polvo*" (Ed. Pomaire, Barcelona, 1979) Allí, el indio Calvin Duggani se venga de Sam Mackenzie y sus amigos dejándolos abandonados en el desierto de Arizona y, entonces...

### Calculo del cambio de volumen y de la osmolaridad EC e IC

Nuevamente calcularemos los cambios en los volúmenes y composición de los compartimientos *suponiendo* que primero hubo una modificación en el EC y luego un cambio en el IC. Así, AL CABO DE 5 HORAS EN EL DESIERTO

$$V_{EC} = 16 \text{ L} - 5,367 \text{ L} = 10,633 \text{ L}$$

$$\text{MASA}_{EC} = 4640 \text{ mOsm} - 700 \text{ mOsm} = 3940 \text{ mOsm}$$

Por lo tanto, la osmolaridad en este compartimiento será:

$$\text{OSM}_{EC} = 3940 \text{ mOsm} / 10,633 \text{ L} = 370,5 \approx 371 \text{ mOsm/L}$$

Quede claro que este valor de osmolaridad extracelular **nunca** se alcanza ya que, al mismo tiempo, se mueve agua desde el IC al EC, pero da una idea del sentido y la magnitud del movimiento.

El volumen del IC disminuirá y su osmolaridad aumentará con respecto al valor original de 290 mosm/L.

En el equilibrio, imaginando un solo compartimiento, la **OSMOLARIDAD DE EQUILIBRIO** será:

$$\text{OSM}_{eq} = \frac{\text{MASA}_{EC} + \text{MASA}_{IC} - \text{MASA}_{perdida}}{V_{EC} + V_{IC} - V_{perdido}}$$

$$\text{OSM}_{eq} = \frac{4640 \text{ mOsm} + 9280 \text{ mOsm} - 700 \text{ mOsm}}{16 \text{ L} + 32 \text{ L} - 5,367 \text{ L}} = 310 \text{ Osm/L}$$

En el equilibrio, los volúmenes serán:

### VOLUMEN INTRACELULAR

$$\text{MASA}_{IC \text{ inicial}} = \text{MASA}_{IC \text{ final}} \quad \text{y} \quad V_i \cdot C_i = V_f \cdot C_f$$

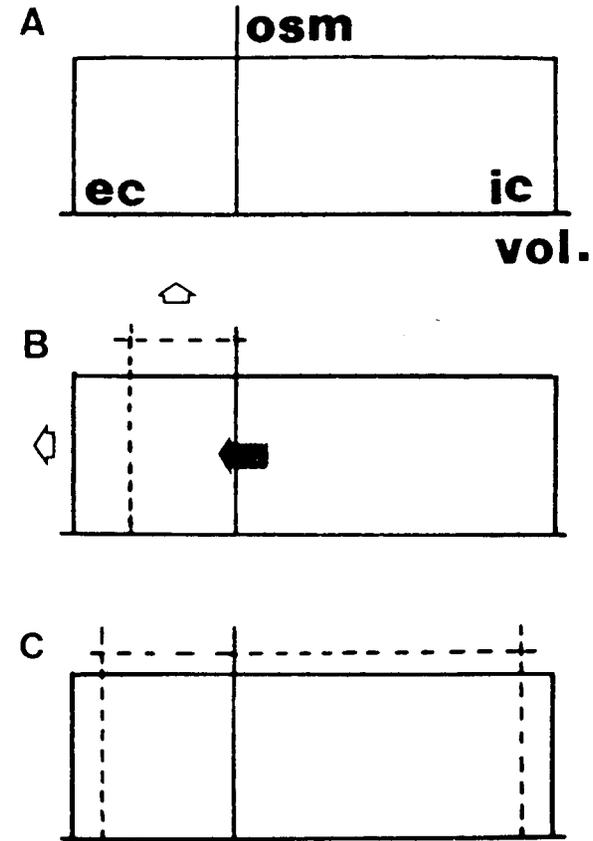


FIG 3.10 REPRESENTACION DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DARROW-YANNET DE LOS COMPARTIMIENTOS CORPORALES DE UNA PERSONA QUE SE PIERDE, SIN AGUA, EN EL DESIERTO. A) SITUACION INICIAL; B) PIERDE AGUA Y SOLUTOS (FLECHAS CLARAS) LA OSMOLARIDAD **ec** AUMENTA, EL VOLUMEN **ec** DISMINUYE Y HAY MOVIMIENTO DE AGUA DEL **ic** AL **ec** (FLECHA OSCURA); C) SITUACION DE EQUILIBRIO, CON OSMOLARIDADES AUMENTADAS Y VOLUMENES DISMINUIDOS

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

$$V_f = \frac{290 \text{ mOsm/L} \cdot 32 \text{ L}}{310 \text{ mOsm}} = 29,935 \text{ L}$$

Entonces, el intracelular ha perdido  $(32 \text{ L} - 29,985 \text{ L}) = 2,064 \text{ L}$

### VOLUMEN EXTRACELULAR

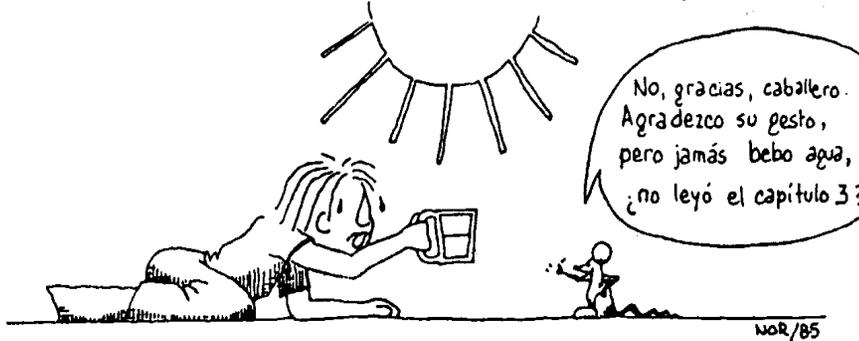
Estos 2,062 litros han pasado del IC al EC, por lo que éste tiene ahora:

$$V_{EC \text{ final}} = V_{EC \text{ inicial}} - V_{EC \text{ perdido}} + V_{\text{ganado del IC}}$$

$$V_{EC \text{ final}} = 16 \text{ L} - 5,392 \text{ L} + 2,064 \text{ L} = 12,672 \text{ L}$$

Por lo tanto, el EC ha tenido una **pérdida neta** de 3,328 litros.

- **Condiciones del héroe al cabo de 5 horas caminando en el desierto.** Nuestro hombre ha perdido más de 5 kg de peso, tiene una osmolaridad plasmática de 310 mosm/L, tiene sed y su deshidratación es del 10%. Esto último quiere decir que ha perdido un volumen de agua que es equivalente a, aproximadamente, el 10 % del agua corporal total (48 litros). Su condición es, obviamente, MALA y de seguir así, no llegará a ningún oasis. ¿Cuál ha sido su error? Claramente la mayor pérdida de agua la tuvo por sudor. ¿Por qué sudó? Pues porque caminó y al caminar hizo trabajo muscular y, además, recibió calor desde el exterior debido a la alta temperatura



### LA VIDA DE DOS ANIMALES DEL DESIERTO, LA RATA CANGURO Y EL CAMELLO

La RATA CANGURO es un roedor que vive en el desierto de Arizona y que, como el *Psammomys*, JAMAS bebe agua, alimentándose incluso con semillas secas. Es un ejemplo claro de adaptación anatómica, fisiológica y de comportamiento a las condiciones extremas. Analizando su actividad diaria se podría concluir que la naturaleza es, en este caso, más "sabia" que los productores de Hollywood, lo que no es mucho decir. Este animalito produce orinas con una concentración que puede ser hasta 15 veces superior a la del plasma (en una sola gota elimina todos los solutos) y no suda. ¿De dónde saca el agua? Pues del agua metabólica, que le produce, como a todos, 0,556 ml de agua por cada gramo de carbohidratos, 0,396 ml de agua por cada gramo de proteínas y 1,07 ml de agua por cada gramo de grasa. Esa pequeña cantidad le alcanza para mantener su balance, siempre que no pierda agua por su peor enemigo: la pérdida insensible por respiración. ¿Cómo se las arregla, entonces? Durante el día prepara una cueva a unos 30 cm debajo de la superficie del desierto. Si arriba la temperatura del suelo puede llegar a pasar de los 80 °C, abajo no es superior a los 37 °C. Luego de fabricada la cueva, el animal cierra la entrada y espera. Su respiración, en ese ambiente cerrado, va haciendo que el aire se cargue de vapor de agua. Su pérdida de agua por la respiración disminuye muchísimo, no absorbe calor del medio y pierde muy poca agua por orina. Al llegar la noche sale de su cueva, la temperatura es baja y puede buscar sus semillas. El CAMELLO, por su parte, puede sobrevivir en el desierto gracias a cuatro condiciones: a un buen mecanismo de concentración renal, a su capacidad de vivir con volúmenes bajos de agua corporal y temperatura corporal alta y... sus jorobas. Si bien la osmolaridad máxima de la orina del camello es superior a la del hombre, está lejos de la osmolaridad de la orina del *Psammomys* o la rata canguro. No puede decirse, entonces, que el camello no pierde agua por orina. Lo que sí puede hacer es irse deshidratando, perdiendo incluso hasta el 25% de su peso corporal y su temperatura corporal ser superior a los 40 °C. En esas condiciones, un hombre hubiera muerto hace rato. Pero, ATENCION, en sus jorobas no hay agua, como mucha gente piensa. Lo que hay allí son 50 kg de grasa que, al irse consumiendo, proveen, como agua metabólica, 50 litros y también calorías. Así, un camello camina días y días, se va deshidratando y consumiendo sus jorobas hasta llegar al oasis. Allí, ¡CUIDADO!: puede llegar a beber 100 litros de agua en 5 minutos.

ambiente. ¿Qué tendría que haber hecho? Quedarse quieto y protegerse del sol. En nuestra aventura, quedarse a la sombra del jeep hasta la noche. Cuando la temperatura baje, y siempre que piense que no lo van a rescatar o supone que hay ayuda cerca, caminar. Sino, esperar ayuda en el lugar. ¿Qué pasa si camina toda la noche y no encuentra auxilio? Antes de que el sol caliente de nuevo tiene que cavar un hueco en la arena, lo suficientemente profundo como para no recibir luz solar, salvo en las horas del mediodía y ... esperar.

#### - Representación de acuerdo al esquema de Darrow - Yannet

La evolución de los espacios corporales del hombre perdido en el desierto puede ser seguida en los esquemas de la Fig. 3.10

#### - Respuesta renal

El hecho clave para entender la respuesta renal es la osmolaridad plasmática. Esta comienza a aumentar y a situarse por encima de 290 mOsm/ L desde el mismo momento en que la persona no recibe agua, está al sol y comienza a caminar y sudar. Desde ese momento, las orinas que se produzcan serán progresivamente más hipertónicas. De ese modo se intentará, por vía renal, ahorrar toda el agua el posible. Es cierto que también se perdió  $\text{Na}^+$ , pero la lucha inmediata es contra la deshidratación.

### 3.5 BALANCE DE SODIO EN EL HOMBRE: ANALISIS DE LAS VIAS DE ENTRADA Y SALIDA

El hecho fundamental en el balance de  $\text{Na}^+$  en el hombre es que, en la inmensa mayoría de los casos, la ingesta supera las necesidades básicas. El hombre come sal más por hábito que por necesidad y el balance se logra ajustando muy cuidadosamente las salidas, los egresos, de modo que sean iguales a los ingresos.

#### Ingresos de sodio:

1) **Sodio en los alimentos** : El aporte más importante de  $\text{Na}^+$  que recibe el hombre es el que ingiere con los alimentos. ya sea que estos lo CONTENGAN o que la persona les AGREGUE  $\text{NaCl}$  como sal de cocina. Sobre esto último hay que distinguir la sal que

### UN NAUFRAGO EN EL MAR

La situación de un naufrago en el mar es, curiosamente, muy parecida a la del hombre en el desierto que mostramos en las páginas anteriores. Solo, en la balsa, está al sol, suda, se deshidrata y no tiene agua para beber. Quizás su situación sea tan grave ya que no camina y puede bajar su temperatura corporal mojándose con agua de mar. La pregunta clásica es: ¿puede beber agua de mar? La respuesta es NO. La razón es que el agua de mar tiene una osmolaridad de alrededor de 1000 mOsm/L, por lo que al beber, por ejemplo 1 L, incorpora 1000 mOsm que debe ser eliminados junto con los miliosmoles que haya producido. Aun cuando no haya comido sabemos que su cuerpo produce unos 300 mOsm/día y que la concentración máxima es de 1200 mOsm/L y muy probablemente deba usar su agua corporal para eliminar los solutos, aumentando la deshidratación. Otra idea es beberse la orina. Si esta está al máximo de concentración, no puede haber ganancia de agua, que es lo que se necesita.



se agrega al cocinar los alimentos y la sal que se agrega, con el salero, en la mesa.

Se suele considerar que una persona que come una dieta mixta, con carbohidratos, proteínas y grasas y cocinada a la manera tradicional de Europa y América, recibe, en promedio, unos 100 a 200 mEq de  $\text{Na}^+$  por día. Es muy importante el HABITO en la mesa: si la persona **nunca agrega sal** en la mesa, su ingesta permanecerá por debajo 120 mEq/ día de  $\text{Na}^+$ ; si **algunas veces agrega sal** en la mesa, su ingesta estará alrededor de los 150 - 180 mEq/ día de  $\text{Na}^+$  y si **siempre agrega sal**, sin ni siquiera haber probado la comida, tendrá una ingesta superior a los 200 mEq/ día de  $\text{Na}^+$ .

Estas cifras son promedios, destinadas a servir sólo de guía. No hay que olvidar que las papas fritas, los tostones, el maní salado, etc., que constituyen el alimento predilecto de los estudiantes, son una fuente fenomenal de sal. Una bolsa de papas fritas puede aportar 60 mEq de  $\text{Na}^+$ . Otra fuente de sal son los embutidos, quesos y alimentos enlatados o conservados. Mientras que 100 g de carne vacuna, cocinada sin sal contienen 3 mEq de  $\text{Na}^+$ , 100 g de salami contienen 35 mEq de  $\text{Na}^+$ ; 100 g de espinaca fresca contienen 2 mEq de  $\text{Na}^+$  y esa misma cantidad, pero en lata, tiene 13 mEq; 100 g de sardinas en lata tienen 37 mEq de  $\text{Na}^+$ , mientras que en 100 g de pescado crudo hay solo 2 mEq.

De este modo, después de una fiesta, por ejemplo, con muchas comidas, aperitivos, entremeses o pasapalos salados, será necesario, para mantener el balance, excretar 100 ó 200 mEq de  $\text{Na}^+$  MAS que el día anterior.

## 2) Sodio en el agua de bebida

Por lo general el agua que se bebe tiene una relativamente baja concentración de  $\text{Na}^+$  que no excede los 10-15 mEq de  $\text{Na}^+$  por litro. Sin embargo, en algunas zonas esta concentración de sal puede llegar hasta los 50 mEq/ L. Salvo en esas condiciones extremas, el agua de bebida no necesita ser tomada en cuenta, como fuente de  $\text{Na}^+$ , en los estudios de balance.

Diagrama que muestra la distribución del sodio corporal en un hombre de 70 kg. Se representan cinco compartimentos numerados: 1 (plasmático), 2 (intersticial), 3 (intercambiable del hueso), 4 (no intercambiable del hueso) y 5 (intracelular). Flechas indican el intercambio de sodio entre los compartimentos: 1 y 2, 2 y 5, 3 y 4, y 3 y 2.

Tabla 3.II RESUMEN DE LOS VALORES DE SODIO CORPORAL USADOS EN EL TEXTO PARA UN HOMBRE DE 70 kg.

1	$\text{Na}^+$ plasmático	508	
2	$\text{Na}^+$ intersticial	1522	
	<b><math>\text{Na}^+</math> total extracelular</b>		2030
3	$\text{Na}^+$ intercambiable del hueso	400	
4	$\text{Na}^+$ no intercambiable del hueso	1294	
	<b><math>\text{Na}^+</math> oseo total</b>		1694
5	$\text{Na}^+$ intracelular	336	
	<b><math>\text{Na}^+</math> corporal total</b>		<b>4060</b>

## - Distribución del sodio corporal

El Na<sup>+</sup> ingerido es absorbido a nivel intestinal, pasando al plasma y a la totalidad del espacio extracelular. Su concentración allí es del orden de los 140 mEq/ litro de plasma y de 145 mEq/ litro de agua plasmática. De ese modo, el Na<sup>+</sup> DISUELTO en el agua EC será , para un hombre de 70 kg:

$$\text{MASA}_{\text{Na}^+ \text{ en agua EC}} = 70 \cdot 0,2 \cdot 145 = 2030 \text{ mEq}$$

La concentración de Na<sup>+</sup> en el interior celular es mucho más baja, de alrededor de 12 mEq/ L y. por lo tanto:

$$\text{MASA}_{\text{Na}^+ \text{ en agua IC}} = 70 \cdot 0,4 \cdot 12 = 336 \text{ mEq}$$

Esto da un total de 2366 mEq, pero la MASA TOTAL de Na<sup>+</sup> (sodio corporal total) es mayor que la suma de estas masas de sodio disueltas en el EC y en el IC. El análisis de las cenizas de un cadaver indica que hay alrededor de 58 mEq de Na<sup>+</sup> por cada kilogramo de peso corporal (peso húmedo). Esto, para un hombre de 70 kg, da un Na<sup>+</sup> TOTAL de:

$$\text{MASA}_{\text{Na}^+ \text{ total}} = 58 \text{ mEq/ kg} \cdot 70 \text{ kg} = 4060 \text{ mEq}$$

Por lo tanto, hay una masa de Na<sup>+</sup> que está en el cuerpo, pero que no se encuentra formando una SOLUCION LIBRE en el EC o en el IC. Esta masa de Na<sup>+</sup> es de 4060 mEq - (2030 mEq + 336 mEq) = 694 mEq de Na<sup>+</sup> y se encuentra, en su mayor parte, formando parte de la matriz de los huesos, en el cristal de hidroxiapatita. Este SODIO OSEO no se encuentra disponible para, por ejemplo, cubrir el déficit de Na<sup>+</sup> en una hiponatremia brusca. Si bien es una reserva de Na<sup>+</sup>, es un sodio que es llamado SODIO NO INTERCAMBIABLE, ya que no se mezcla, no se intercambia, al menos rápidamente, con el sodio extracelular. Hay otra fracción del sodio de los huesos que está sólo adherida a la superficie de la matriz ósea y que sí se intercambia, aunque lentamente, con el Na<sup>+</sup> y se llama SODIO INTERCAMBIABLE. La Tabla 3.II resume estas masas de sodio corporal. Cuando hay un desbalance entre las entradas y las salidas de Na<sup>+</sup> al compartimiento corporal, se afectará muy rápidamente el Na<sup>+</sup> extracelular y luego el Na<sup>+</sup> intercambiable del hueso. Muy difícilmente se afectará el Na<sup>+</sup>

### INGESTA DE SAL E HIPERTENSION ARTERIAL

Desde hace ya muchos años hay una preocupación generalizada acerca de cuánta sal come una persona. Si se piensa que el riñón tiene la capacidad de mantener el balance de Na<sup>+</sup> en un estudiante, atiborrado de papas fritas y en un yanomami, que ingiere menos de 10 mEq de Na<sup>+</sup> por día, parecería que no fuera muy importante, desde el punto de vista médico, saber con exactitud la ingesta. Sin embargo, en la historia de la Medicina hay, a este respecto, dos hechos claves: Primero, en 1948 Kempner mostraron que era posible tratar a los enfermos hipertensos con una dieta de arroz y frutas, SIN SAL. Luego, en 1954, Dahl y Love descubrieron que los esquimales, que comen menos de 3 g de NaCl por día, son un pueblo sin hipertensos, mientras los habitantes del norte de Japón, que ingieren más de 25 g de sal el día, tienen una altísima incidencia de hipertensión. Los yanomamis del sur de Venezuela y el norte de Brasil fueron calificados como una cultura sin sal... y sin hipertensos. Se siguió también a los miembros de los pueblos "desalados" que migraban hacia la civilización Occidental y se encontró que el número de hipertensos aumentaba. La sal se convirtió, quizás antes que el "stress" y el colesterol, en una de las ABERRACIONES de la vida civilizada. Lo cierto es que hoy, muchos años más tarde, las evidencias de una causa-efecto entre la sal y la hipertensión son mucho más débiles y pocos aceptan que la diferencias se deban SOLO a la sal que comemos. Queda en pie que, por lo general, los pacientes hipertensos se benefician con una dieta POBRE en sal, aunque se sabe que, por el hábito alimenticio, es prácticamente imposible que un paciente mantenga una dieta hiposódica estricta por más de un par de semanas. En 1980, Sir George Pickering decía: "Las admoniciones para evitar el salero parecen ser bastante tontas ..." Sus drásticas conclusiones no son compartidas por todos los que investigan la hipertensión arterial como un problema de salud pública. No parece haber ninguna razón valedera para aceptar la enorme cantidad de sal que los fabricantes de comidas enlatadas le agregan a sus productos y su reducción, en una población en su conjunto, junto con la disminución del consumo de grasas animales, parece haber significado, el menos en los Estados Unidos, una disminución de la incidencia de las enfermedades cardiovasculares. La ingesta de comidas supersaladas, por otra parte, disminuye la capacidad gustativa para apreciar el sabor de los alimentos correctamente sazonados, lo que, sí es imperdonable.

intracelular, ya que está mantenido en esa concentración por la bomba de sodio, o el sodio no intercambiable, fijado al hueso.

#### **Egresos de sodio:**

- 1) La principal vía de egreso del  $\text{Na}^+$  es la **orina** y la regulación de la salida, para ajustarla a los ingresos, se hace por vía renal.
- 2) Por el **sudor** se pueden eliminar, como vimos, cantidades considerables de  $\text{Na}^+$ . Sin embargo, insistimos en eso, no se trata de un mecanismo de **regulación** sino, más bien, un EFECTO COLATERAL a la pérdida de agua que es necesaria para perder CALOR.
- 3) Por las **heces** se pierden cantidades variables de  $\text{Na}^+$ , por lo general no mayores de 5 mEq/día. En condiciones patológicas, como en las diarreas, la excreción puede aumentar considerablemente.

Por eso:

EN UN HOMBRE SANO, QUE NO ESTE SUDANDO, LA CANTIDAD DE SODIO QUE EXCRETA POR DÍA EN LA ORINA ES IGUAL A LA CANTIDAD INGERIDA.

#### **- Reabsorción y excreción de sodio por el riñón**

Nuevamente, como hicimos con el caso del agua, podemos describir un MECANISMO GENERAL para la regulación de la cantidad de  $\text{Na}^+$  que aparece en la orina por día. Una descripción más detallada se podrá encontrar en el capítulo 6.

A nivel de los GLOMERULOS se filtran, desde el plasma sanguíneo, agua, sustancias electrolíticas y no electrolíticas que están normalmente en el plasma, pero no glóbulos rojos o proteínas. El  $\text{Na}^+$  tiene, en consecuencia, aproximadamente la misma concentración en el líquido filtrado que en el plasma y la cantidad que, por minuto entra los túbulos es (SODIO FILTRADO u OFERTA TUBULAR DE SODIO):

$$\text{Na}^+_{\text{filtrado}} = \text{Volumen}_{\text{filtrado}} \cdot \text{Na}^+_{\text{en plasma}}$$
$$= 0,120 \text{ L/ min} \cdot 140 \text{ mEq/L} = 16,8 \text{ mEq/ min}$$

y en 24 horas:

$$\text{Na}^+_{\text{filtrado}} = 16,8 \text{ mEq/min} \cdot 1440 \text{ min} = 24192 \text{ mEq/día}$$

¿Cuánto de esa enorme cantidad de  $\text{Na}^+$  filtrado aparece en la orina?

Como dijimos, la misma cantidad que el sujeto COMIO. Si comió 150 mEq de  $\text{Na}^+$  en un día, excretará, por orina, 150 mEq de  $\text{Na}^+$ .

$$\text{Na}^+_{\text{excretado en orina}} = 150 \text{ mEq/día}$$

$$\text{Na}^+_{\text{filtrado}} = 24192 \text{ mEq}$$

$$\text{Na}^+_{\text{reabsorbido}} = \text{Na}^+_{\text{filtrado}} - \text{Na}^+_{\text{excretado}} = 24042 \text{ mEq/ día}$$

Este cálculo indica que en este hombre se ha reabsorbido el 99,3% de todo el sodio que se ha filtrado.

¿Cómo se **regula**, entonces, la excreción de  $\text{Na}^+$ ? Pues, como en el caso del agua, REABSORBIENDO: reabsorbiendo más o reabsorbiendo menos, pero SIEMPRE reabsorbiendo.

Supongamos que nuestro hombre come pasapalos, queso y salami y su ingesta de  $\text{Na}^+$  pasa de 150 mEq/día a 300 mEq/día. ¿Qué pasará con el  $\text{Na}^+$  en la orina? Aumentará, por supuesto, para mantener el balance, lo que se logra disminuyendo la reabsorción.

En ese caso:

$$\text{Na}^+_{\text{excretado en la orina}} = \text{Na}^+_{\text{filtrado}} - \text{Na}^+_{\text{reabsorbido}}$$

$$\text{Na}^+_{\text{reabsorbido}} = 24192 \text{ mEq/ día} - 300 \text{ mEq/día} = 23892 \text{ mEq/ día}$$

Esto significa que la reabsorción de  $\text{Na}^+$  ha pasado del 99,3% de lo filtrado, cuando comía 150 mEq/día, a ser el 98,7% de lo filtrado, cuando come 300 mEq/ día de  $\text{Na}^+$ .

### 3.6 SITUACIONES QUE DETERMINAN CAMBIOS EN EL BALANCE DE SODIO

En el curso de un día de una persona sana, aun haciendo una vida absolutamente normal, hay cambios en el balance de  $\text{Na}^+$ , en especial por modificaciones en la ingesta, que obligarán a los mecanismos homeostáticos renales a "arreglar" la situación. El "objetivo" del mecanismo de regulación será, antes que nada, mantener constante la concentración en el *mar interior*, el extracelular. Para ello se pondrán en juego sistemas que tienen que ver no sólo con el  $\text{Na}^+$  sino también con el agua.

Ante un aumento de la concentración de  $\text{Na}^+$  EC (hipernatremia), lo más rápido será RETENER agua a nivel renal, aumentando la reabsorción. Luego vendrá, de ser necesario, el mecanismo que se encargará de excretar el  $\text{Na}^+$  que se encuentre en exceso.

Aparte de las situaciones cotidianas de cambios en la ingesta de la  $\text{Na}^+$ , asociadas, como se dijo, a los hábitos alimenticios, hay situaciones que son bastante comunes en nuestro medio, como puede ser la toma de un diurético por recomendación de un amigo o vecino. Por último, ya en el campo estrictamente médico, es frecuente encontrar, en las salas de medicina o cirugía, pacientes que están recibiendo inyecciones endovenosas de soluciones acuosas. Esto introducirá modificaciones en el balance de  $\text{Na}^+$  que debemos conocer.

En consecuencia, a modo de ejemplo, veremos 3 casos sencillos de modificaciones del balance de sodio, todos en personas sanas:

- 1 ) Una persona que come 200 g de queso "llanero".
- 2) Una persona que toma un comprimido de "furosemida", un poderoso diurético.

### EL BALANCE DE SODIO Y EL SODIO EN LA ORINA

El hecho cierto que la casi totalidad del  $\text{Na}^+$  ingerido aparece en la orina de un hombre que no esté sudando, facilita enormemente los estudios de balance de  $\text{Na}^+$ . No hay necesidad de MEDIR el  $\text{Na}^+$  que una persona come, lo que puede ser complicado, sino simplemente medir la MASA de  $\text{Na}^+$  que en 1 día aparece en orina. Sin embargo, esto, en la práctica diaria, puede resultar algo no tan fácil de realizar. Lo primero que se debe hacer es instruir al paciente sobre cómo recoger la orina de 24 horas. Deberá levantarse a la hora acostumbrada (supongamos a las 6:00 a.m.) y, entonces, vaciar a fondo su vejiga, descartando la orina. A partir de ese momento, juntará TODA la orina en un recipiente. Este recolección continuará hasta el DI. siguiente, a las 6:00, momento en que nuevamente orinará a fondo, pero en el recipiente. Para evitar la descomposición bacteriana de la orina (y el olor desagradable que puede producir) se puede agregar el frasco de recolección un antiséptico, como el TIMOL. Aun cuando el paciente haya sido bien instruido, habrá dos hechos que pueden arruinar la recolección: la orina: que en paciente, no tenga el cuidado de recoger la orina cuando evacua su intestino y, si está hospitalizado... las enfermeras, auxiliares y visitas!. Estas pocas veces pueden ver un recipiente lleno de orina sin dejarse llevar por la tentación de vaciarlo. Suponiendo que la recolección haya sido exitosa, se debe medir el VOLUMEN TOTAL emitido en 24 horas en una probeta y, de allí tornar una muestra de unos pocos mililitros. En el laboratorio se medirá la CONCENTRACION de  $\text{Na}^+$  en la muestra usando un FOTOMETRO DE LLAMA. Si la concentración de  $\text{Na}^+$  en orina es, por ejemplo, de 94 mEq/ L el volumen de orina fue de 1,530 litros en 24 horas, la excreción urinaria de  $\text{Na}^+$  (y posiblemente la ingesta) fue de  $(1,530 \text{ L} \cdot 94 \text{ mEq/L}) = 144 \text{ mEq/día}$ .

3) Una persona que recibe, por vía endovenosa rápida, 1,5 litros de una solución de Dextrosa al 5%.

En cada caso se hará un análisis detallado de los cambios en los volúmenes y la composición de los fluidos corporales y de la respuesta renal. Otros ejemplos se pueden encontrar en los problemas del final del capítulo.

### 1) Una persona que come 200 g de queso "llanero".

Todos los tipos de QUESO tienen sal, aunque en cantidades variables. Así, por ejemplo, el queso "requesón" tiene unos 60 mg de NaCl por cada 100 g de sustancia mientras que el queso de Roquefort (Blue cheese) o el queso llanero de Venezuela puede tener más de 1000 mg por cada 100 g. Supongamos, en nuestro ejemplo, que una mujer de 50 kg de peso que come 200 gramos de esta última variedad de queso. Un análisis de una muestra del queso que comió indica que contenía 1,42 g de NaCl por cada 100 g.

#### - Análisis del cambio de concentración de $\text{Na}^+$ y la osmolaridad en el EC

El queso es digerido a nivel del tracto digestivo y su  $\text{Na}^+$  es absorbido, junto con las otras sustancias que lo componen, a nivel del intestino. Dado que el volumen de queso que esta persona comió es relativamente pequeño, podemos despreocuparnos del agua contenida en él y suponer que, simplemente, comió NaCl y que éste pasó al EC, donde se distribuyó uniformemente. Si el queso tenía 1,42 g de NaCl/ 100 g, Como comió 200 g y cada 58,5 g de NaCl representan 1000 mmol de NaCl:

#### INGESTA

58,5 g NaCl ..... 1000 mmol NaCl

2,84 g NaCl .....  $x = 48,5$  mmol NaCl

Esto corresponde a 48,5 mEq de  $\text{Na}^+$  y 48,5 mEq de  $\text{Cl}^-$  y , aproximadamente:

#### CONTROL HORMONAL DEL VOLUMEN Y COMPOSICION DE LA ORINA

La forma COMO el riñón puede, en un momento dado, excretar más o menos agua, más o menos solutos, retener o perder sodio, es algo que se comprenderá al estudiar el funcionamiento del riñón, en el Cap. 6. Sin embargo, podemos señalar, aquí, muy esquemáticamente, que estos procesos se encuentran bajo el control de dos hormonas: la HORMONA ANTIDIURETICA (ADH), que se secreta en el hipotálamo[no y se almacena en la hipófisis y la ALDOSTERONA, que es secretada por la corteza suprarrenal. A la ADH le corresponde el control de la reabsorción de agua a nivel de los túbulos colectores renales. Cuando la osmolaridad extracelular es superior a las 285-290 mOsm/L, la secreción de ADH aumenta en forma proporcional al aumento de la osmolaridad y la reabsorción de agua también aumenta, por lo que la diéresis disminuye. Por debajo de esos valores, la secreción de ADH disminuye, la reabsorción de agua también disminuye y la excreción de agua aumenta. A la ALDOSTERONA le corresponde el control de la reabsorción de  $\text{Na}^+$  en el túbulo distal. Frente a situaciones que determinan una disminución de la masa de  $\text{Na}^+$  extracelular habría un aumento de la secreción de aldosterona y la bomba de  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$  del túbulo distal bombearía más  $\text{Na}^+$  de la luz tubular a la sangre y más  $\text{K}^+$  desde la sangre a la luz. La mayor reabsorción de  $\text{Na}^+$  determina que se excrete menos  $\text{Na}^+$  y más  $\text{K}^+$  por orina. Aunque las cosas no son tan negro y blanco como se lo acaba de pintar, esta división de funciones de cada hormona puede servir de guía para comprender algunos fenómenos. Un elemento clave es el tiempo que necesitan cada una de las hormonas para lograr su efecto máximo. La ADH logra su efecto en cuestión de minutos u horas, mientras que la aldosterona, frente a una exfoliación de  $\text{Na}^+$  necesita días para lograr el balance. Si se analiza con cuidado la Fig. 2.2 se podrá ver que allí, al comenzar la dieta hiposódica, se pierde más  $\text{Na}^+$  que el que se ingiere, hasta que sólo al cuarto o quinto día se llega al balance. Esto es debido a la aldosterona y sus mecanismos lentos para recuperar el  $\text{Na}^+$ . Sin embargo, antes de alcanzar el balance de  $\text{Na}^+$ , se pierde peso, indicando una pérdida de agua corporal, producto de la inhibición de la ADH. Así puede mantenerse la concentración de  $\text{Na}^+$  y la osmolaridad extracelular constantes.

$$\text{MASA}_{\text{Osm NaCl}} = 48,5 \text{ mmol} \cdot 2 = 97 \text{ mOsm}$$

Estos 48,5 mEq de  $\text{Na}^+$  y los 97 mOsm se distribuirá en el EC de modo que si la persona tenía 50 kg de peso, su SODIO EXTRACELULAR TOTAL será de:

$$\begin{aligned} \text{MASA}_{\text{Na}^+ \text{ EC total}} &= \text{Na}^+_{\text{EC}} + \text{Na}^+_{\text{ingerido}} \\ &= (50 \cdot 0,2 \cdot 140) + 48,5 = 1448,5 \text{ mEq} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MASA}_{\text{Osm EC total}} &= \text{MASA}_{\text{Osm EC}} + \text{MASA}_{\text{Osm ingerida}} \\ &= (50 \cdot 0,2 \cdot 290) + 97 = 2997 \text{ mOsm} \end{aligned}$$

Si aceptamos, no habiendo la persona tomado agua, que el VOLUMEN del extracelular no se modificó, la concentración de  $\text{Na}^+$  extracelular será de:

$$\text{Na}^+_{\text{EC}} = \frac{1448,5 \text{ mEq}}{10 \text{ L}} = 144,85 \text{ mEq/L} \approx 145 \text{ mEq}$$

y la osmolaridad extracelular será de:

$$\text{OSM}_{\text{EC}} = \frac{2997 \text{ mOsm}}{10 \text{ L}} \approx 300 \text{ mOsm/L}$$

#### - Movimiento de agua entre los compartimientos

Por el aumento de la osmolaridad EC, hay un flujo de agua del IC al EC, hasta igualar las osmolaridades. La osmolaridad de equilibrio se puede calcular como si hubiera un solo compartimiento, sin divisiones en EC e IC. Así:

$$\text{Osm}_{\text{eq}} = \frac{\text{MASA}_{\text{Osm EC + IC}}}{\text{Volumen}_{\text{EC + IC}}}$$

$$\text{Osm}_{\text{eq}} = \frac{(50 \text{ kg} \cdot 0,6 \cdot 290 \text{ mOsm/L}) + 97 \text{ mOsm}}{(50 \text{ kg} \cdot 0,6)} \approx 293 \text{ mOsm/L}$$

La llegada de NaCl al EC aumentó la osmolaridad EC lo que, inmediatamente, al crear un gradiente osmótico, determinó un flujo de agua del IC al EC. La osmolaridad EC, que hubiera llegado a 300 mOsm/L de no haber existido flujo de agua del IC al EC, se estabiliza en 293 mOsm/L.

Este flujo de agua determina que el volumen IC disminuya y el volumen EC aumente. El volumen IC se puede calcular asumiendo que, en todo este proceso, no ha habido ni ganancia ni pérdida de osmoles intracelulares. Entonces:

$$\text{MASA}_{\text{IC inicial}} = \text{MASA}_{\text{IC final}}$$

$$C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f$$

$$V_{\text{IC final}} = \frac{290 \text{ mOsm/L} \cdot 20 \text{ L}}{293 \text{ mOsm/L}} = 19,795 \text{ L}$$

Esto significa que el VOLUMEN INTRACELULAR, que era de 20 litros, ha perdido 0,205 L y el VOLUMEN EXTRACELULAR, que era de 10 litros, ha ganado ese volumen y ahora es de 10,205 litros.

#### - Representación de acuerdo al esquema de Darrow-Yannet

En la Fig. 3.11 se pueden seguir estos cambios en los compartimientos. Desde la condición inicial, mostrada en el panel a), hasta la condición de equilibrio, mostrada en c).

#### - Respuesta renal

En el equilibrio esta persona queda, después de haber ingerido 200 g de queso llanero, con un EC ligeramente expandido, un IC algo reducido y una osmolaridad tanto EC como IC aumentada. Esto último determina que sienta SED. El aumento de osmolaridad también

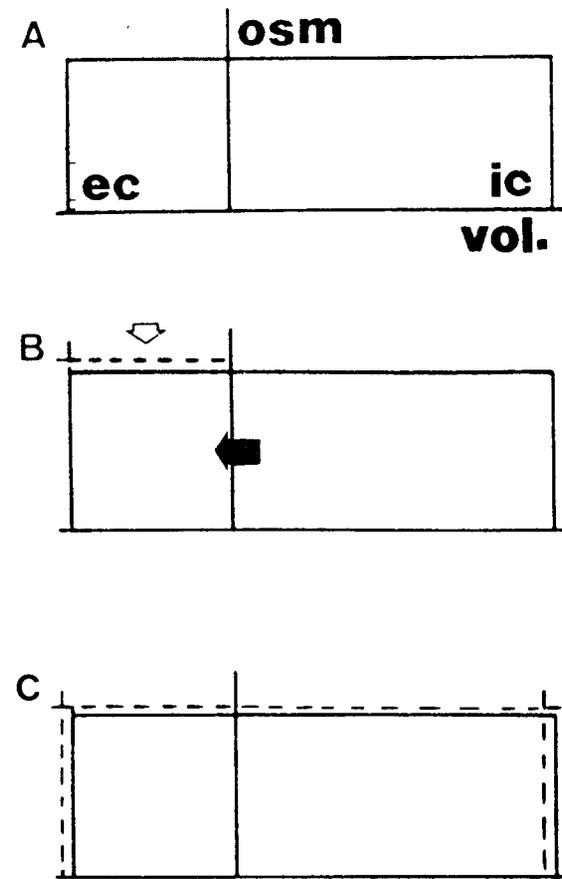


FIG 3.11 REPRESENTACION DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DARROW-YANNET DE LOS CORPORALES DE UNA PERSONA QUE INGIERE UN ALIMENTO CON ALTO CONTENIDO DE SAL. A) SITUACION INICIAL; B) RECIBE (FLECHA CLARA) UNA MASA DE NaCl QUE LE AUMENTA LA MASA Y LA OSMOLARIDAD **ec**, SIN MODIFICAR EL VOLUMEN. ESO DETERMINA UN FLUJO (FLECHA NEGRA) DEL **ic** AL **ec**; C) SITUACION DE EQUILIBRIO, CON OSMOLARIDAD **ec** E **ic** AUMENTAD, VOLUMEN **ic** DISMINUIDO EL **ec** AUMENTADO

pondrá en marcha mecanismos renales que, en lo inmediato, tenderán a retener agua. Para ello se comenzarán a producir orinas hipertónicas.

Si, por efecto de la sed, la persona bebe una cantidad de agua (¡o de cerveza!) exactamente igual al volumen que necesita para que la osmolaridad vuelva a los 290 mOsm/ L, cesará de producir orinas hipertónicas, aunque persiste la necesidad de eliminar el Na<sup>+</sup> ingerido. Si, por el contrario, y como es muy frecuente, la persona bebe más de lo estrictamente necesario para llevar la osmolaridad al valor normal, la sensación de sed desaparece, la osmolaridad es inferior a los 290 mOsm/ L, y se empiezan a producir orinas hipotónicas.

Eso le permitirá seguir comiendo queso... y ¡bebiendo cerveza!. Esta situación fisiológica es conocida por todos los dueños de bares del mundo, que siempre disponen de pasapalos y picadas saladas ... ¡cerveza y baños!

## **2) Una persona que toma "Furosemida", un potente diurético**

Un diurético sería, por definición, cualquier sustancia que aumente el volumen urinario. Son usados en Medicina para inducir una disminución del volumen y la masa osmolar extracelular, a partir, sobre todo, de un aumento en la excreción renal de agua y sodio. La Furosemida, dentro de ellos, se caracteriza por tener un efecto rápido, alcanzando su máximo en alrededor de una hora, por lo que es muy útil en situaciones de emergencia, como el edema agudo de pulmón. Sin embargo, por su efecto espectacular, es un diurético muy usado entre los amantes de la automedicación. Sin la intervención de ningún médico, éste y otros diuréticos son usados para el hipotético tratamiento de la obesidad, la celulitis, la tensión premenstrual, las cefaleas, las ojeras, etc. Vale la pena, entonces, analizar cuáles son los cambios en los espacios corporales en una persona que ingiere, durante 2 días, 40 mg de Furosemida.

Para ilustrar mejor el ejemplo, tomaremos el balance de los ingresos y egresos de 3 días: 1 día ANTES de recibir el diurético (Día 0) y 2 días consecutivos DESPUES (Día 1 y Día 2)

**DÍA 0:** Peso corporal: 68 kg; diurético: no

BALANCE DE AGUA (ml/ día)				BALANCE DE SODIO (mEq / día)			
Ingresos		Egresos		Ingresos		Egresos	
Bebida	1200	Orina	1250	Dieta	130	Orina	130
Alimentos	850	P.Ins.	900				
Agua met.	300	Heces	200				
Total	2350		2350		130		130
<b>BALANCE</b>		<b>0</b>				<b>0</b>	

**DÍA 1:** Peso corporal: 68 kg; diurético: sí

BALANCE DE AGUA (ml/ día)				BALANCE DE SODIO (mEq / día)			
Ingresos		Egresos		Ingresos		Egresos	
Bebida	1100	Orina	2100	Dieta	120	Orina	220
Alimentos	910	P.Ins.	900				
Agua met.	300	Heces	200				
Total	2310		3200		120		220
<b>BALANCE</b>		<b>- 890 ml</b>				<b>- 100 mEq</b>	

DÍA 2: Peso corporal: 67 kg; diurético: sí					
BALANCE DE AGUA (ml/ día)			BALANCE DE SODIO (mEq / día)		
Ingresos		Egresos		Ingresos	
				Egresos	
Bebida	1450	Orina	1900	Dieta	145
Alimentos	900	P.Ins.	900	Orina	210
Agua met.	300	Heces	200		
Total	2650		2950		210
BALANCE	<b>-300 ml</b>			<b>- 65 mEq</b>	

Si ahora analizamos la situación de esta persona al final del día 2, veremos, basándonos en las pérdidas de los días anteriores:

Balance de agua: - (890 ml + 300 ml) = - 1190 ml

Balance de Na<sup>+</sup> = - (100 mEq + 65 mEq) = - 165 mEq

Peso corporal = PESO inicial - AGUA perdida =

$$= 68 \text{ kg} - (0,890 \text{ kg} + 0,300 \text{ kg}) = 66,810 \text{ kg}$$

#### - Cálculo del cambio de volumen del EC e IC

Como lo hemos hecho antes, consideremos, **por un momento**, que este volumen y esta masa perdidos han salido SOLO del EC. Haremos el cálculo para el fin del día 2.

VOLUMEN<sub>EC fin día 2</sub> = VOLUMEN<sub>EC día 0</sub> - VOLUMEN perdido

$$= (68 \cdot 0,2) - 1,190 = 12,410 \text{ litros}$$

MASA<sub>Na<sup>+</sup> EC fin día 2</sub> = MASA<sub>Na<sup>+</sup> EC día 0</sub> - MASA<sub>Na<sup>+</sup> perdida</sub>

$$= (68 \cdot 0,2 \cdot 140) - 165 = 1739 \text{ mEq}$$

Entonces, la CONCENTRACION de Na<sup>+</sup> EC sería de:

$$\text{Na}^+_{\text{EC}} = \frac{1739 \text{ mEq}}{12,410 \text{ L}} = 140 \text{ mEq/L}$$

Como se ve, la persona ha quedado, en este ejemplo, con un MASA de sodio EC disminuida, un VOLUMEN EC disminuido, pero con una concentración de Na<sup>+</sup> normal. Esto hace suponer que no habrá movimiento de agua entre el EC y el IC, ya que no hay gradiente de osmolaridad.

#### - Representación de acuerdo al esquema de Darrow-Yannet

La situación de equilibrio está representada en el panel b) de la Fig. 3.12

#### - Respuesta renal

No se puede hablar de una respuesta renal fisiológica, ya que muchos de los mecanismos renales están alterados por el diurético. Lo que se puede decir es que, frente a la pérdida de agua y sodio, los sistemas funcionan TRATANDO de retener agua y sodio, aumentando la reabsorción. Hay un aumento de la concentración plasmática de ALDOSTERONA, una hormona que aumenta la reabsorción de Na<sup>+</sup> en el túbulo distal, pero su ACCIÓN no se pondrá en evidencia mientras persista la acción del diurético. Una suspensión brusca de la toma del diurético puede provocar un **efecto rebote** y un brusco aumento de peso corporal. Esto lleva a muchos a seguir tomando, sin necesidad, el diurético, convirtiéndose en verdaderos adictos.

#### - Hiponatremia por el uso prolongado de diuréticos

En el caso que acabamos de ver no hay cambios en la concentración EC de sodio. Sin embargo, y dependiendo de la respuesta individual, hay pacientes que presentan hiponatremia, en especial si han usado diuréticos asociado a una dieta hiposódica.

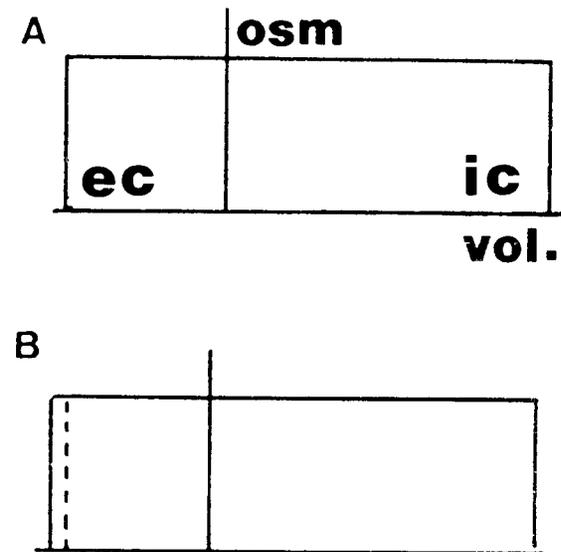


FIG 3.12 REPRESENTACION DE ACUERDO AL ESQUEMA DE DARROW-YANNET DE LOS COMPARTIMIENTOS CORPORALES DE UNA PERSONA QUE TOMA UN DIURETICO. A) CONDICION INICIAL; B) CONDICION DE EQUILIBRIO, CON MASA OSMOLAR *ec* DISMINUIDA, VOLUMEN EC DISMINUIDO Y OSMOLARIDAD *ic* NORMAL

Como hay una disminución de la MASA de sodio EC, todas las personas que toman diuréticos, al no poder manejar sus mecanismos renales, están más expuestas a desbalances serios. Es frecuente observar la aparición de calambres, debilidad, fatiga fácil e hipotensión. Cuando el que toma diurético va, por ejemplo, a la playa un día caluroso, la pérdida de Na<sup>+</sup> por el sudor y la habitual ingesta de grandes volúmenes de agua o cerveza pueden determinar una hiponatremia bastante importante.

**3) Una persona que recibe, por vía endovenosa rápida, 1,5 litros de la solución de "Dextrosa al 5%".**

Esta solución tiene 50 g/ L de D-Glucosa (pm 180) y es una de las soluciones llamadas ISOTONICAS, ya que tiene:

$$160 \text{ g/ L Glucosa} \dots\dots\dots 1800 \text{ mmol/ L}$$

$$50 \text{ g/ L Glucosa} \dots\dots\dots x = 277, \text{g mmol/ L} \approx 278 \text{ mmol/ L}$$

Como es un solución no-electrolítica, la osmolaridad será igual a la molaridad, de donde:

$$\text{OSM}_{\text{glucosa } 5\%} = 278 \text{ mOsm/ L}$$

Esta solución se usa cuando se quiere dar **agua** por vía endovenosa, sin aportar sales. **No se puede inyectar agua sola**, ya que produciría una severa hipotonicidad plasmática y una hemólisis de los eritrocitos. La glucosa de la solución de glucosa al 5% rápidamente se metaboliza dando CALORIAS y AGUA. Como se sabe, 1 g de glucosa produce 4,3 kcal y 0,5 ml de agua. Por eso, al inyectar 1 litro de la solución lo que se consigue es inyectar 1,025 litros de agua.

Veamos, en una persona de 70 kg, qué cambios ocurren, a poco de inyectar 1,5 de la solución de glucosa al 5%:

$$\text{VOLUMEN}_{\text{inyectado}} = 1,5 \text{ L}$$

$$\text{MASA}_{\text{Na}^+ \text{ inyectada}} = 0$$

$$\text{MASA}_{\text{osmolar inyectada}} = 278 \text{ mOsm/ L} \cdot 1,5 \text{ L} = 417 \text{ mOsm}$$

EN ESTE MOMENTO USTED DEBE SER CAPAZ DE RESOLVER LA SITUACION DESCRIPTA EN EL PROBLEMA 3, QUE SE ENCUENTRA AL FINAL DEL CAPITULO . NO TRATE DE RECORDAR LAS CIFRAS O DATOS. RECURRA A LO ESCRITO EN ESTE CAPITULO Y LOS ANTERIORES

### - Cálculo de la concentración de Na<sup>+</sup> EC

Como este volumen de solución va directamente a la sangre y de allí a todo el EC, se puede esperar que la concentración de Na<sup>+</sup> disminuya, ya que:

$$\begin{aligned} \text{CONC. Na}^+_{\text{EC}} &= \frac{\text{MASA Na}^+_{\text{EC}}}{\text{VOLUMEN EC} + \text{VOLUMEN inyectado}} \\ &= \frac{70 \cdot 0,2 \cdot 140 \text{ mEq}}{14 \text{ L} + 1,5 \text{ L}} = 126,4 \text{ mEq/ L} \end{aligned}$$

Pese a que hay, **inicialmente**, un descenso de la concentración EC de Na<sup>+</sup>, la OSMOLARIDAD EC no sigue, en este caso, a la concentración de Na<sup>+</sup>, ya que la glucosa aporta osmoles. Así:

$$\begin{aligned} \text{OSM}_{\text{EC}} &= \frac{\text{MASA Osm EC} + \text{MASA Osm inyectada}}{\text{VOLUMEN EC} + \text{VOLUMEN inyectado}} \\ \text{OSM}_{\text{EC}} &= \frac{(70 \cdot 0,2 \cdot 290 \text{ mOsm}) + 417 \text{ mOsm}}{14 \text{ L} + 1,5 \text{ L}} = 287 \text{ mOsm/ L} \end{aligned}$$

Al no haber **casí** cambios en la osmolaridad EC, se puede aceptar que no salió ni entró agua al IC, lo que se corresponde con el carácter isotónico de la solución de glucosa al 5%

### - Representación de acuerdo al esquema de Darrow-Yannet

No habiendo cambios en la osmolaridad EC, sólo habrá un aumento del volumen EC. Al metabolizarse la glucosa, la solución inyectada deja de ser isotónica, lentamente se hace hipotónica y empieza a pasar agua al IC

APROVECHE LOS ESPACIOS EN BLANCO PARA REPRESENTAR EL ESQUEMA DE DARROW-YANNET EN CADA UNO DE LOS MOMENTOS SEÑALADOS

### - Cálculo de la concentración EC de glucosa

Si se acepta que la inyección de esta solución de glucosa se hizo lo suficientemente rápido como para que, prácticamente, no hubiera tiempo para metabolizarla, la concentración EC de glucosa habrá aumentado. Se la puede calcular, sabiendo que su concentración normal es de 1 g/ L.

Así:

$$\text{CONC. glucosa EC} = \frac{\text{MASA glucosa EC} + \text{MASA glucosa inyectada}}{\text{VOLUMEN EC} + \text{VOLUMEN inyectado}}$$
$$\text{CONC. glucosa EC} = \frac{(70 \cdot 0,2 \cdot 1 \text{ g}) + 75 \text{ g}}{14 \text{ L} + 1,5 \text{ L}} = 5,74 \text{ g/ L}$$

Una muestra de sangre de esta persona, tomada INMEDIATAMENTE después de la inyección, mostrará una hiperglucemia y una hiponatremia. Tiempo después, la hiperglucemia desaparecerá, porque la glucosa se metaboliza en el interior celular. Para que la glucosa ENTRE a la célula se necesita de la presencia de INSULINA, una hormona pancreática. En los DIABETICOS la concentración extracelular de insulina es baja y la glucosa no puede metabolizarse adecuadamente, por lo que las cifras altas de glucosa persisten por más tiempo.

### - Respuesta renal

Como respuesta renal a esta inyección de glucosa al 5% habrá un aumento de la diuresis. Esto es debido, en parte, a que, una vez metabolizada la glucosa, queda un EC hipotónico. También contribuye a este aumento de la diuresis la imposibilidad inicial de reabsorber, a nivel tubular, la glucosa ofertada: hay una saturación de los transportadores de la glucosa del túbulo proximal renal (ver Cap. 6). Mientras que en los sujetos normales no hay glucosa en orina, en los diabéticos y en los que están recibiendo soluciones glucosadas por vía endovenosa, sí la hay.

### HIPONATREMIA DE LOS ENFERMOS DIABETICOS

Los enfermos diabéticos no tratados tienen cifras de glucosa en sangre que están, aún en ayunas, por encima de las cifras normales. Esta alta concentración de glucosa determinaría un aumento de la osmolaridad extracelular y un pasaje de agua del IC al EC. Las osmolaridades se equilibrarían, pero la concentración EC de Na<sup>+</sup>, principal catión en ese compartimiento, quedará disminuida. Es muy importante, en los diabéticos, saber si esa hiponatremia se debe SOLO al aumento de la glucosa o si está relacionada con otra causa. Basándose en las consideraciones hechas en este capítulo, se puede estimar que hay una DISMINUCION de 1,5 a 2 mEq/L de Na<sup>+</sup> en plasma por cada gramo por litro de AUMENTO en la glucemia. Así, un paciente diabético con 5 g/L de glucosa (normal = 1 g/L), puede tener entre 132 y 134 mEq/L de Na<sup>+</sup> en plasma, en vez de los 140 mEq/L habituales.

NOTA: ¿SABE USTED LLEGAR A CALCULAR ESTA CIFRA DE 1,5 A 2 mEq/L de Na<sup>+</sup> POR GRAMO/ LITRO EN EXCESO DE GLUCOSA? INTENTELO. Si NO, RECURRA, EN ULTIMA INSTANCIA, AL PROBLEMA 4 AL FINAL DE ESTE CAPITULO.

**FIN DE LA  
PARTE 2 DEL CAPITULO 3,  
CONTINUA PARTE 3**

# Capítulo 3

## PARTE 3/3

### PROBLEMAS Y PRUEBA DE AUTOEVALUACION

#### PROBLEMA 1

- Calcular si un paciente se encuentra en balance hidroelectrolítico.
- Estimar el volumen y composición de las soluciones de reemplazo.

INDICE – PARTE 3	Pág
PROBLEMA 1	1
PROBLEMA 2	5
PROBLEMA 3	7
PROBLEMA 4	9
AUTOEVALUACION	11
RESPUESTAS	16
LECTURAS RECOMENDADAS	16

En la vida habitual de un individuo sano hay, sin duda, cambios transitorios del balance hidroelectrolítico que son rápidamente compensadas por la ingesta de agua o por la formación de orinas hipo o hiperosmóticas. Una situación diferente es la de un sujeto enfermo en la que su balance debe ser MANTENIDO por medios artificiales. Esto es lo habitual en los casos de accidentados o personas que han sido sometidas a intervenciones quirúrgicas. No intentaremos aquí enseñar a los estudiantes estas técnicas, pero si señalarle los pasos a seguir para saber si el paciente está o no en balance y mostrarle cuales serían, en general, las medidas que se deberían adoptar. En el problema 1A, luego de la presentación del caso, iremos mostrando cómo obtener el resultado: lo único que se le pide es que complete los espacios en blanco. En el Problema 1B, todo quedará a cargo del estudiante.

**1A** Un paciente de 54 años de edad y 78 kg de peso sale de la sala de cirugía, donde fue operado de las vías biliares, quedando con un drenaje (un tubuladura que conecta su colédoco con el exterior, *drenando* bilis). El cirujano simplemente ordena: "Mantener balance hidrosalino. No agua o alimentos por vía oral en las primeras 24 horas". El médico residente indica inyectar 2 litros de NaCl 0,9% y 2 litros de solución de glucosa al 5% en 24 horas. En las primeras 24 horas se recoge lo siguiente:

1) Orina: volumen: 1520 mL

Na<sup>+</sup> : 80 mEq/ L      K<sup>+</sup> : 17 mEq/ L

2) Líquido de drenaje: Volumen: 740 mL      Na<sup>+</sup> : 123 mEq/ L      K<sup>+</sup> : 17 mEq/ L

3) Sudor y pérdida

insensible (estimado): Volumen: 1200 mL      Na<sup>+</sup>: 0      K<sup>+</sup> : 0

En base a estos datos se puede hacer la siguiente tabla de balance:

### **EGRESOS**

1) AGUA: (1+2+ 3) = ..... mL

2) SODIO

2a) Na<sup>+</sup> orina: C<sub>O</sub> . V<sub>O</sub> = .... mEq

2b) Na<sup>+</sup> drenaje: C<sub>d</sub> . V<sub>d</sub> = .... mEq

2c) Na<sup>+</sup> total ..... mEq

3) POTASIO

3a) K<sup>+</sup>: C<sub>O</sub> . V<sub>O</sub> = ..... mEq

### **INGRESOS**

4) Solución de NaCl 0,9%

4a) ..... mEq/ L de Na<sup>+</sup>

4b) ..... mL inyectados

4c) .....mEq totales de Na<sup>+</sup>

5) Solución de glucosa al 5%

5a) volumen inyectado: ..... mL

**BALANCE**

a) Volumen

negativo-positivo de ..... mL

b) Na<sup>+</sup>:

negativo-positivo de ..... mEq

c) K<sup>+</sup>

negativo-positivo de ..... mEq

**Respuestas:**

a)	3460 mL	4a)	154 mEq/L
2a)	121 mEq	4b)	2000 mL
2b)	91 mEq	4c)	308 mEq
2c)	212 mEq	5a)	200 mL
3a)	18,2 mEq	6a)	+540 mL
3b)	12,6 mEq	6b)	+96 mEq
3c)	30,8 mEq	6c)	-31 mEq

**Comentario:** Hay un exceso en el volumen de agua y la cantidad de  $\text{Na}^+$  inyectados, pero esto no es muy importante si el paciente tiene buena función renal. Lo que hay, sí, es un déficit de  $\text{K}^+$ . El error estuvo en no dar, en alguna forma, soluciones con  $\text{K}^+$ .

**1B** Un hombre de 72 kg de peso comienza a trabajar en una fundición de acero, cerca de un horno. Como el ambiente tiene una temperatura cercana a los  $40\text{ }^\circ\text{C}$ , se decide estudiar su balance de agua y de  $\text{Na}^+$  durante un período de 3 horas. Durante ese lapso el obrero toma el volumen de agua que quiere y se mide el volumen perdido por perspiración y por sudor y su composición, así como el volumen y composición de la orina. Los datos obtenidos son:

### **EGRESOS**

Perspiración: 370 mL/ 3horas

Agua de respiración: 100 mL/ 3 horas

Sudor:

Volumen: 2900 mL/ 3 horas

$\text{Na}^+$ : 30 mEq/L

Orina:

Volumen: 180 mL/ 3 horas

$\text{Na}^+$  : 103 mEq/L

### **INGRESOS**

Agua de bebida: 3,75 litros

En esas condiciones, el obrero ha tenido:

- a) Un balance positivo-negativo de agua de ..... mL
- b) Un balance positivo- negativo de  $\text{Na}^+$  de ..... mEq
- c) Para compensar la pérdida de sal se le podría recomendar que ingiera, durante el turno de 3 horas, sellos o cápsulas de  $\text{NaCl}$ . La cantidad de  $\text{NaCl}$  a ingerir es de ..... g de  $\text{NaCl}$ .

## Respuestas

- a) + 800 mL
- b) - 88 mEq
- c) 5,1 g  $\Omega$  5 g

### PROBLEMA 2

**Objetivo:** Calcular los volúmenes y concentraciones de los compartimientos corporales luego de una situación que modifique el balance de agua.

En base a los 3 ejemplos que se han dado en el texto, usted debería poder resolver, dentro de los esquemas simples que hemos usado, la mayoría de las situaciones de desequilibrio hídroelectrolítico. En el Problema 2 A daremos un caso y señalaremos los pasos que *podrían* ser necesarios para llegar a los resultados. No es único camino para llegar a ellos, pero es uno de los tantos métodos a usar. En el Problema 2 B la resolución queda totalmente a su cargo.

**2A** A un hombre de 54 kg de peso se le solicita que done sangre para un familiar que será operado en el Hospital. En el Banco de Sangre se le extraen, de una vena del pliegue del codo, 400 mL de sangre. Poco después, el sujeto siente sed y bebe 500 mL de agua. Si sus volúmenes y las concentraciones en el EC e IC, antes de la extracción, eran normales, se pueden calcular 2 cosas: los volúmenes y concentraciones inmediatamente después de donar la sangre y los volúmenes y concentraciones después de tomar el agua.

Para ello se puede razonar en este orden:

- 1) ¿Cuál era el volumen EC original?
- 2) ¿Cuál es el volumen de agua EC extraído, considerando sólo el plasma (con 100% de agua) y un hematocrito del 45%?
- 3) ¿Cuál es la masa osmolar EC extraída, usando el mismo razonamiento que en 2?
- 4) ¿Cuál es el volumen de agua EC que queda?
- 5) ¿Cuál es la osmolaridad EC resultante?
- 6) ¿Qué volumen de agua se mueve del EC al IC o del IC al EC?
- 7) ¿Cuál es el volumen EC e IC luego de la extracción?
- 8) ¿Cuál es la osmolaridad EC e IC de equilibrio?
- 9) Al tomar el agua, ¿qué pasa con la osmolaridad EC e IC?
- 10) ¿Luego de tomar agua, qué volumen IC queda en el equilibrio?
- 11) ¿Luego de tomar agua, qué volumen EC queda en el equilibrio?

## RESPUESTAS

- 1) 10,8 litros
- 2)  $400 \text{ mL} \cdot 0,55 = 220 \text{ mL}$
- 3)  $290 \text{ mOsm/L} \cdot 0,220 \text{ L} = 63,8 \text{ mOsm}$
- 4) 10,580 litros
- 5)  $290 \text{ mOsm/L}$ , la misma que antes de la extracción, ya que se extrajo un líquido isotónico.
- 6) ninguno
- 7) 10,58 y 21,6 litros
- 8)  $290 \text{ mOsm/L}$
- 9) baja a  $286 \text{ mOsm/L}$ , ya que:

$$\text{OSM EC e IC} = \frac{(54 \cdot 0,6 \cdot 290) - 63,8 \text{ mOsm}}{(54 \cdot 0,6) + (0,5 - 0,22 \text{ L})} = 286 \text{ mOsm/L}$$

donde 0,6 es la fracción del peso corporal ocupada por agua. Se supone un primer paso en que la osmolaridad EC baja a menos de  $286 \text{ mOsm/L}$ , hay un movimiento de agua del EC al IC y se llega al equilibrio

- 10) 21,9 L, ya que:

$$\text{MASA IC inicial} = \text{MASA IC final}$$

$$V_f = V_i \cdot C_i / C_f = (54 \cdot 0,4) \cdot 290 / 286 = 21,9 \text{ L}$$

Como el IC tenía  $(54 \cdot 0,4) = 21,6 \text{ L}$ , ha ganado  $0,3 \text{ L}$

- 11) 10,28 L, ya que tenía, luego de la extracción (punto 4), 10,58 L, y se fueron al IC  $0,3 \text{ L}$

**2B** Una paciente de 61 kg recibe, por vía endovenosa, 1 litro de solución de NaCl al 0,45% y 1 litro de solución de glucosa al 5%. Calcule:

- a) la masa osmolar inyectada, suponiendo que en el tiempo que duró la infusión la glucosa no se ha metabolizado.
- b) La osmolaridad EC e IC de equilibrio, en esas mismas condiciones.
- c) El volumen EC e IC de equilibrio, en esas mismas condiciones

**Respuestas:**

- a) 422 mOsm
- b) 286 mOsm/L (usando  $g = 0,94$ )
- c) 13,84 litros y 24,757 litros

**PROBLEMA 3**

Objetivo:

- Determinar los volúmenes y con-centraciones de los compartimientos corporales luego de una situación que modifique el balance de agua y de electrolitos.

**ESTE PROBLEMA ESTA PLANTEADO DE UNA FORMA DIFERENTE A LOS ANTERIORES: NO SE DARAN LOS DATOS DE PESO, VOLUMENES, CONCENTRACIONES, ETC. HABITUALES, SINO QUE SIMPLEMENTE SE INDICARA LA SITUACION EN QUE SE ENCUENTRA LA PERSONA Y SERA USTED MISMO QUIEN COMPLETE LA INFORMACION, PREFERIBLEMENTE CON SUS DATOS PERSONALES.**

3A Un estudiante de Fisiología sale a navegar por el Mar Caribe en una pequeño bote a motor. El mar está calmo y aleja varias millas de la costa. Ya casi al mediodía, el motor se detiene y no hay modo de volverlo a poner en marcha. Bastante preocupado, mira alrededor y sólo ve agua. Como ha dejado familiares y amigos en la playa sabe que, tarde o temprano, lo saldrán a buscar. Lo cierto es que se hace de noche y no lo han rescatado. A la mañana siguiente, 24 horas después de haber salido a pasear, sigue en su bote, muy angustiado y sediento. Recordando lo que le enseñaron en Fisiología, razona:

- a) Yo, ayer, cuando salí en el bote, pesaba ..... kg
- b) Hacía bastante calor, así que debo haber sudado unos ..... litros.
- c) El sudor debe haber tenido una osmolaridad de ..... mOsm/L .
- d) Por lo tanto, perdí ..... mOsm por el sudor.
- e) Oriné cerca de ..... litros
- f) Esa orina no era muy concentrada, de modo que debe haber tenido una osmolaridad de ..... mOsm/L
- g) Por orina, debo haber perdido unos ..... mOsm
- h) Pongamos que por respiración perdí ..... mL
- i) Imaginemos que por perspiración perdí .. . mL
- j) Entonces, he tenido un balance negativo de agua de ..... litros!!
- k) Y un balance negativo de solutos de ..... mOsm !!
- l) Entonces, mi EC se ha concentrado, ha pasado agua del IC al EC y mi osmolaridad intra y extracelular, en este momento, debe ser de unos ..... mOsm/ L. ¡¡Con razón tengo sed!!
- m) Mientras sigue esperando, trata de recordar lo que leyó, alguna vez, sobre beber o no agua de mar. Razón: si no bebo, me sigo concentrando, pero si bebo, como el agua de mar tiene una osmolaridad de 1000 mOsm/ L, mi osmolaridad aumentará más todavía. ¿Cuánto más? ¿Mucho? Quizas no... Supongamos que me tomo nada más que medio litro. Mi osmolaridad EC e IC (en equilibrio. como decían en clase) será de ..... mosm/ L. ¡ Mejor me mojo la CABEZA con agua !!
- n) Ya casi convencido de que morirá deshidratado, promete que la próxima vez no saldrá sin agua, motor auxiliar, remos y bengalas. Una voz lo saca de su depresión. Es su hermano, que desde otro bote la dice: "¡Eh...! ¿no quieres una cerveza? No pudiendo creer lo que oye, piensa: lo que yo ahora necesito no es una cerveza sino ..... litros! Si me tomo todo eso, mi osmolaridad plasmática bajaría de ..... mOsm/L, que es la tengo ahora, a ..... mOsm/L. Si.....

Los familiares y amigos, convencidos que el sol "le afectó la cabeza", lo trasladan a la Medicatura, mientras nuestro héroe sigue calculando, .. calculando ...

#### PROBLEMA 4

Objetivo

- Verificar que los pacientes diabéticos, con hiperglucemia, presentan hiponatremia.

En la Nota Aparte "Hiponatremia de los enfermos diabéticos" se señaló que un aumento de la concentración de glucosa en el EC puede determinar una hiponatremia. Esto es debido a que la glucosa, máxime en estos casos, puede considerarse un soluto extracelular. En ausencia de INSULINA, la hormona que falta en los diabéticos (en especial en los tipo I o insulino-dependientes), la glucosa se acumula en el EC y su osmolaridad aumenta. Por gradiente osmótico pasa agua del IC al EC y todos los componentes normales del EC se diluyen, entre ellos el  $\text{Na}^+$ . En el problema siguiente se hará un cálculo APROXIMADO de en CUANTO disminuye la concentración de  $\text{Na}^+$  en un diabético.

**4A** Un paciente de 67 años y 70 kg de peso ingresa al hospital para ser tratado por su diabetes. Un análisis de sangre muestra los siguientes elementos significativos:

Glucosa: 500 mg/dL

$\text{Na}^+$  = 129 mEq/ L

La **pregunta** es: ¿la hiponatremia es por la diabetes o por otra causa? Para decidir esto se calcula que:

- El volumen EC, para ese peso, debe ser de .....litros.
- Si la osmolaridad fuera de 290 mOsm/L la masa osmolar EC sería de ..... mOsm.
- Como la cifra de glucosa EC normal es de 1 g/L y el paciente tiene ..... g/ L, tiene un exceso de ..... mOsm por cada litro EC.
- Entonces, hay una masa osmolar EC, debida a la glucosa de .... mOsm, que se agrega a la masa osmolar EC normal, por lo que la masa osmolar TOTAL EC será de .... mOsm.
- Entonces, si no hubiera MOVIMIENTO DE AGUA ENTRE IC e EC, la osmolaridad EC sería de ..... mOsm.

f) Eso determinaría un movimiento de agua desde el IC al EC, hasta llegar a una osmolaridad de equilibrio de .... mOsm/L.

g) Para llegar a ese equilibrio, el volumen EC debe ser ahora de .... litros.

h) Con ese volumen, la concentración de  $\text{Na}^+$  tiene que ser de ..... mEq/ L.

**Respuestas**

- a) 14 litros; b) 4060 mOsm  
c) 5g/L y 22,2 mOsm; d) 311 mOsm y 4371 mOsm  
e) 312 mOsm/L; f) 297 mOsm/ L  
g) 14,7 litros ; h) 133 mEq/ L.

**NOTA:** es un cálculo aproximado ya que el aumento de masa EC de glucosa no es brusco, como ocurría en la inyección de la solución glucosada al 5% y hay siempre una regulación de volumen celular. De todos modos, se comprueba que decir que por cada 1 g/ L de exceso de glucosa en plasma hay una disminución de 1,5 a 2 mEq/ L de  $\text{Na}^+$  es correcto.

## AUTOEVALUACION

*LOS **PROBLEMAS** QUE HEMOS VENIDO RESOLVIENDO HASTA AQUI SON, COMO SE COMPRENDE, LA PARTE MAS IMPORTANTE DE CUALQUIER EXAMEN. SIN EMBARGO, LAS **PREGUNTAS** SIGUIENTES TRATARAN DE EVALUAR ALGUNOS ASPECTOS EN UNA FORMA NO NUMERICA. SON TEMAS DE LOS TRES PRIMEROS CAPITULOS Y SE HA PREFERIDO NO PONERLOS EN UN ORDEN DETERMINADO.*

**PREGUNTA 1** Un obrero se encuentra trabajando al sol y suda profusamente. Una análisis de los compartimientos corporales, efectuado después de varias horas de trabajo y sin haber bebido agua, mostraría (el signo (+) significa aumento, el signo (-) disminución y el signo (=) que no hubo cambio) (señale la línea donde TODAS las opciones son correctas).

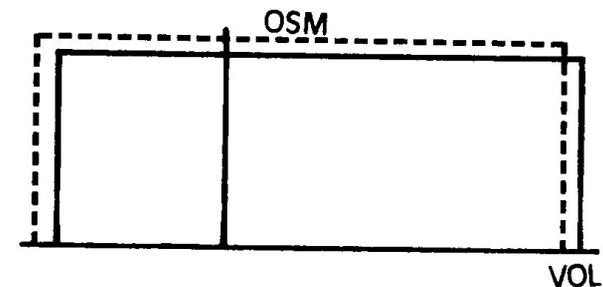
	Osmolaridad EC	Volumen EC	Osmolaridad IC	Volumen IC
a)	+	+	+	+
b)	-	-	+	-
c)	+	+	-	+
d)	-	+	-	+
e)	-	+	=	-

**PREGUNTA 2** La concentración de proteínas plasmáticas y el hematocrito pueden ser tomados, hasta cierto punto, como indicadores del estado de hidratación de un individuo. Supongamos que a una persona, sin ninguna alteración hidroelectrolítica previa, se le inyectan 3 litros de una solución isotónica de NaCl. Un análisis de sangre efectuado inmediatamente después mostrará (señale la línea con las opciones correctas).

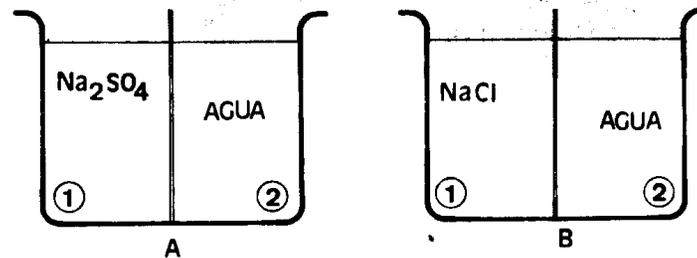
	Proteínas	Hematocrito
a)	+	+
b)	+	=
c)	=	=
d)	-	-
e)	-	=

**PREGUNTA 3** Este esquema de Darrow-Yannet corresponde, muy posiblemente, al cuadro hidroelectrolítico de un paciente que señale lo correcto).

- a) Recibió una inyección endovenosa de una solución hipertónica
- b) Bebió rápidamente un gran volumen de agua
- c) Perdió solutos y agua en una proporción similar a la existente en el E
- d) Perdió  $\text{Na}^+$  sin perder agua.
- e) sufrió una hemorragia.



**PREGUNTA 4** En el recipiente A de la figura siguiente se ha puesto, en el lado 1, una solución de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  50 mmol/ L y en el lado 2, agua. En el recipiente B se ha puesto, del lado 1, una solución de  $\text{NaCl}$  100 mmol/ L y en el lado 2, también agua.



La membrana, que es la misma en ambos recipientes, tiene un coeficiente de reflexión de 1 para el  $\text{SO}_4^{=}$ , de 0,55 para el  $\text{Na}^+$  y de 0,55 para el  $\text{Cl}^-$ . Tomando coeficientes  $\sigma$  como iguales a 1 para ambas sales, se puede razonar que el descenso crioscópico ( $\Delta t_c$ ) de la solución que se encuentra en el lado 1, la diferencia de presión osmótica efectiva ( $\Pi_{ef}$ ) y el flujo de agua de 2 hacia 1 ( $J_{21}$ ) son:

	$\Delta t_c$	$\Pi_{ef}$	$J_{21}$
a)	$A > B$	$A > B$	$A > B$
b)	$A < B$	$A < B$	$A < B$
c)	$A < B$	$A > B$	$A > B$
d)	$A < B$	$A > B$	$A < B$
e)	$A > B$	$A < B$	$A < B$

**PREGUNTA 5** El potencial eléctrico de una célula se encuentra próximo siempre al potencial del ion (señale la correcta)

- a) Que es transportado activamente
- b) Al que la célula es impermeable
- c) Que presenta la mayor permeabilidad
- d) Que tiene la mayor diferencia de concentración entre el IC y el EC.
- e) Que se encuentra en mayor concentración en el IC.

**PREGUNTA 6** El mecanismo más importante de salida de  $\text{Na}^+$  de la célula es (señal la respuesta correcta)

- a) pasivo, en el que la sustancia atraviesa la membrana por poros y en el que el flujo tiende a un máximo al aumentar la concentración
- b) activo, en el que la sustancia atraviesa la membrana utilizando transportadores y en el que el flujo aumenta linealmente con la concentración
- c) pasivo, en el que la sustancia atraviesa la membrana a través de poros y el que el flujo aumenta linealmente con la concentración
- d) pasivo, en el que la sustancia atraviesa la membrana utilizando transportadores y en el cual el flujo tiende a un máximo al aumentar la concentración
- e) activo, en el cual la sustancia atraviesa la membrana utilizando transportadores y el flujo tiende a un máximo al aumentarse la concentración

**Pregunta 7** La ouabaina determine que la diferencia de potencial (**AV**), la concentración de  $\text{Na}^+$  intracelular (**Na' IC**), el flujo de  $\text{Na}^+$  de adentro hacia afuera (**Jio**) y el flujo de  $\text{Na}^+$  de afuera hacia adentro (**Joi**) sufra las siguientes modificaciones (señale la línea en que todas las opciones son correctas)

	$\Delta V$	Na <sup>+</sup> IC	Joi	Jio
a)	=	+	+	-
b)	-	+	-	=
c)	-	=	+	-
d)	+	-	-	=
e)	-	+	-	-

**PREGUNTA 8** Un hombre está recibiendo, en su dieta habitual, unos 150 mEq de Na<sup>+</sup> por día. Por razones médicas es colocado en una dieta de 20 mEq de Na<sup>+</sup> por día. En los primeros días de esta dieta el paciente nota una pérdida de peso. Esto es debida a (señale la correcta)

- a) Adelgazamiento, ya que el Na<sup>+</sup> contribuye a fijar las grasas.
- b) A un balance negativo de agua, ya que al ingerir menos Na<sup>+</sup> bebe menos agua.
- c) A un balance negativo de agua, tendiente a compensar el aumento de osmolaridad plasmática.
- d) Adelgazamiento, ya que al comer con poca sal, lo insípido de los alimentos le hace comer menos.
- e) A un balance negativo de agua, tendiente a compensar la disminución de la osmolaridad plasmática.

**PREGUNTA 9** En una célula determinada, sabiendo las concentraciones intra y extracelulares, se puede establecer, para cada uno de los iones, el potencial eléctrico de equilibrio (**V<sub>ion</sub>**) y, comparándolo con el potencial de membrana (**V<sub>m</sub>**), saber si el ion está en equilibrio (**eq**) o no, si tiende a salir (**S**) o a entrar en la célula (**E**) y si necesita una bomba y en qué sentido, si haciendo salir (**S**) o entrar (**E**) el ion. En el siguiente cuadro, analice todas las líneas **y** en la última columna señale si todas las opciones son correctas (**C**) o incorrectas (**I**)

	ion	Vion (mV)	Vm (mV)	eq	Tiende a	bomba	C ó l
a)	Na+	+61	-70	no	E	S	
b)	Cl-	-85	-85	sí	0	no	
c)	Na+	+23	-23	sí	0	no	
d)	Cl-	-85	-90	no	E	S	
e)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-32	-90	no	E	S	
f)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-60	-40	no	E	S	
g)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-32	-90	sí	E	E	
h)	K+	-80	-89	sí	E	S	
i)	K+	-85	-90	no	E	S	
j)	K+	-92	-90	no	sí	E	

Pregunta 10 En una persona que tiene, por alguna razón, una osmolaridad EC de 310 mOsm/L, ocurren cambios en la secreción de **ADH**, en la reabsorción de agua en los túbulos renales (**Ragua**), en el volumen (**V**) de orina y en su osmolaridad (**Osm orina**) Señale la línea que contiene todas las opciones correctas.

	ADH	Ragua	V	Osm orina
a)	-	-	=	+
b)	+	+	-	+
c)	+	-	-	-
d)	-	+	-	+
e)	+	+	+	-

## Respuestas prueba de autoevaluación

1) b	2) d	3) a	4) c	5) e
6) e	7) e	8) e	9a) C	9b) C
9c) I	9d) I	9e) I	9f) C	9g) C
9h) I	9i) C	9j) C	10) b	

### LECTURAS RECOMENDADAS

*Dos clásicos:*

- **Fisiología del Riñón y los fluidos corporales**  
RF Pitts, Editorial Panamericana, S.A. 1976
- **Clinical Disorders of Fluid and Electrolyte Metabolism**  
MH Maxwell y CR Kleeman  
McGraw Hill Book Co, New York, 1976

**Manual de Fisiología y Biofísica para estudiantes de medicina**  
**R. Montoreano – Edición electrónica 2002**

**FIN DEL CAPITULO 3**