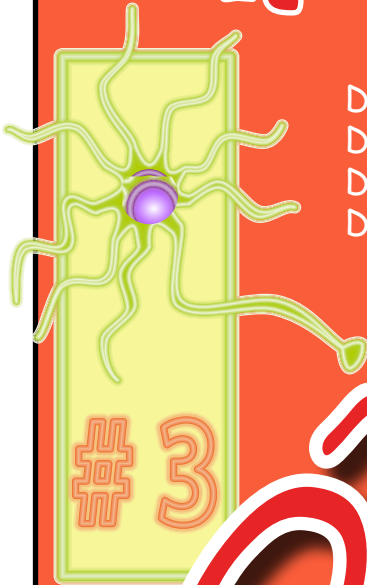
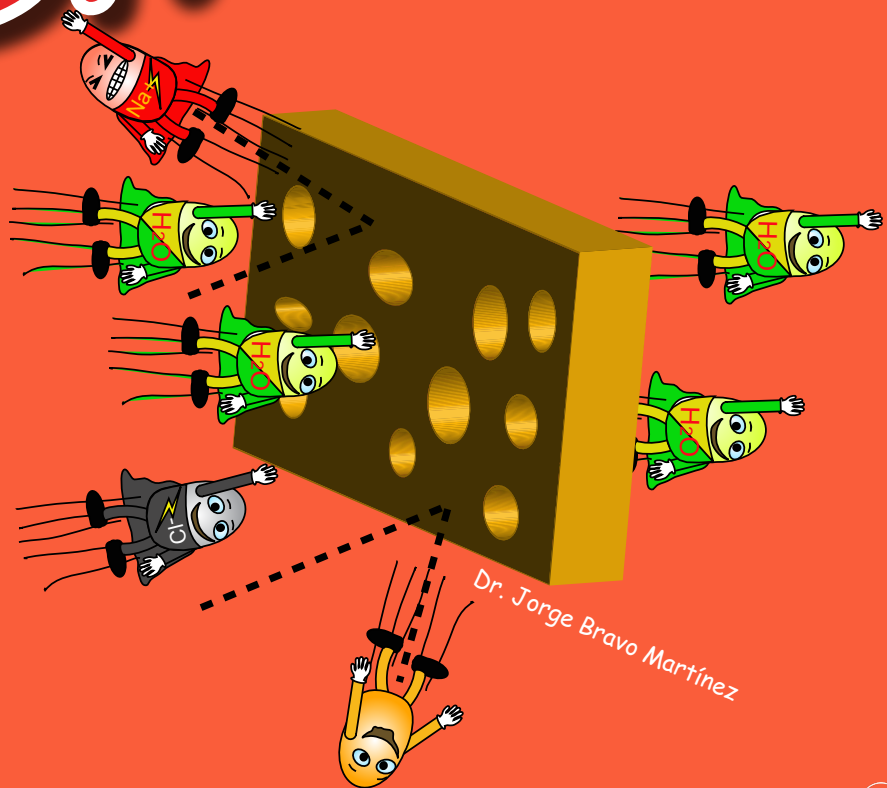


SERIE: FISIOLÓGIA PARA TODOS



Dr. Jorge Bravo Martínez
Dra. Blanca Alicia Delgado-Coello
Dra. Julieta Garduño Torres
Dr. Raúl Sampieri Cabrera

ÓSMOSIS



Dr. Jorge Bravo Martínez

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE FISIOLÓGIA

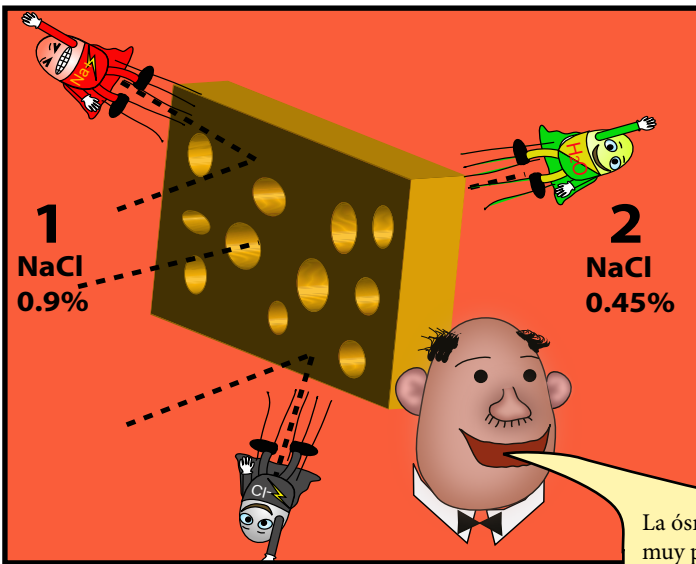


Facultad de Medicina

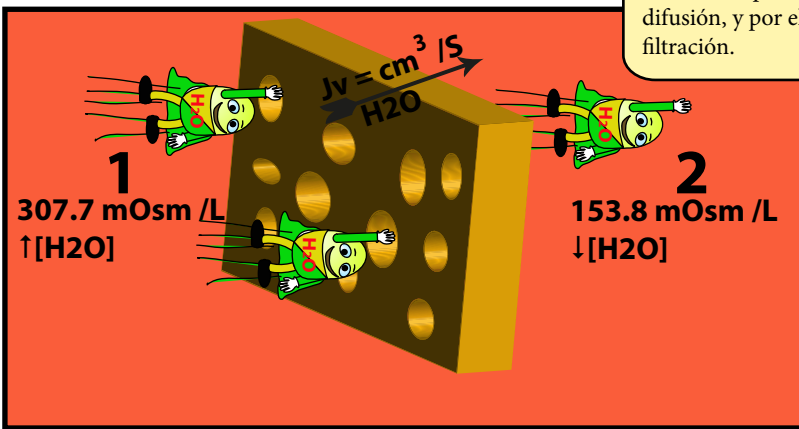


DEPARTAMENTO DE
FISIOLÓGIA



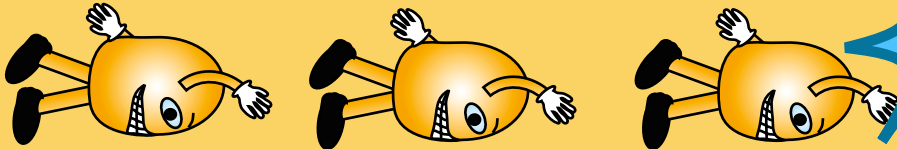


Imagina que en un recipiente con dos compartimentos separados por una membrana impermeable al NaCl (soluto), pero permeable al agua (solvente), colocamos NaCl hasta tener una solución de NaCl 0.9 g% y de 0.45 g% en el compartimento 1 y 2, respectivamente. A pesar de que hay un gradiente de concentración para los iones Na⁺ y Cl⁻, el flujo difusional (Pd) es cero para ambos iones.



Pero si calculamos la osmolaridad en cada lado, veremos que: en el compartimento 1 es equivalente a 307.7 mOsm/L y en el compartimento 2 es de 153.8 mOsm/L. Esto quiere decir que hay un gradiente de concentración de agua, ya que, como vimos, siendo la osmolaridad en 1 mayor que la osmolaridad en 2, la concentración de agua es mayor en el compartimento 2 que en el compartimento 1. Esto determinará un flujo de

agua o flujo osmótico (J_v) a favor del gradiente (es decir, irá de 2 hacia 1). El flujo osmótico se expresa como: $J_v = cm^3 / s$



FLUJO OSMÓTICO
Y SU
FUERZA IMPULSORA

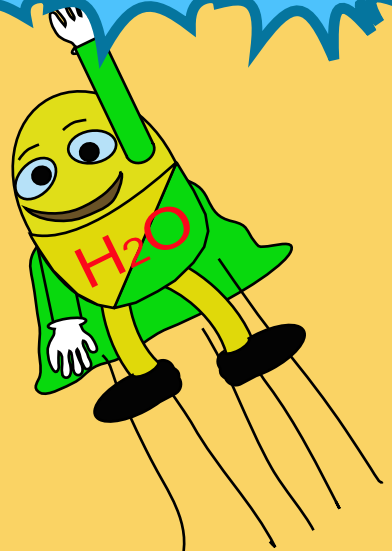
El flujo osmótico depende del gradiente osmótico y se representa como:

$$J_v = P_{osm} A (\text{osmolaridad 1} - \text{osmolaridad 2})$$

Donde: A es el área y P_{osm} es el coeficiente de permeabilidad osmótica. Si colocamos las unidades de área y flujo habituales y la osmolaridad en Osm/cm³, el P_{osm} quedará expresado en:

$$P_{osm} = \frac{J_v}{A \cdot \text{osmolaridad}} = \frac{cm^3 / s}{(cm^2 \cdot Osm) / cm^3} = cm^4 / (s \cdot osm)$$

El P_{osm} corresponde al espesor de la membrana.

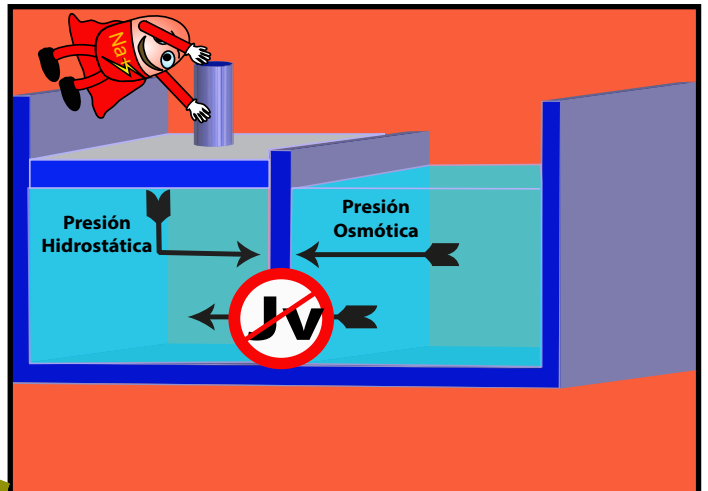


PRESIÓN OSMÓTICA COMO FUERZA IMPULSORA

Hasta ahora, no parece haber diferencia apreciable entre difusión y ósmosis. En ambos casos, hay una diferencia de concentración de agua o de solutos y esa es la fuerza impulsora. En la ósmosis, al igual que en la filtración, no puede haber simultáneamente dos flujos unidireccionales en sentidos opuestos. Desde ese punto de vista, la ósmosis se asemeja más a la filtración que a la difusión.

Si cerramos con un pistón el compartimento 1 y ejercemos una presión P hacia abajo, llega un momento en que el flujo osmótico es de cero. Esto quiere decir que de alguna manera la diferencia osmolar entre 1 y 2 estaba creando una diferencia de presión hidrostática que podría movilizar agua entre 2 y 1. Entonces, cuando por efecto de la presión P en el pistón el flujo es: $J_v = 0$, la presión es ahora $P_{\text{pistón}} = \text{presión osmótica}$.

**FLUJO OSMÓTICO COMO
FUNCIÓN DE LA PRESIÓN**



$$\pi = R \cdot T \cdot Osm$$

En otras palabras, la presión osmótica es la que ejercen las moléculas de agua sobre la membrana al pasar de un compartimento al otro.

El valor de presión osmótica (P_o) se puede calcular, de acuerdo a la Ley de van't Hoff, como: $P_o = R \cdot T \cdot \text{Osmolaridad}$

Donde: R es la constante universal de los gases, cuyo valor es de $0,082 \text{ L} \cdot \text{atm} / \text{mol} \cdot \text{T}$ es la temperatura absoluta en K (grados Kelvin).

Así que el flujo osmótico depende de la presión osmótica, y a su vez depende del gradiente osmótico, por lo que se constituye como su FUERZA IMPULSORA.

El flujo de agua que por efecto de un gradiente osmótico (y tomando en cuenta la presión osmótica) aparece a través de una membrana, se puede escribir como:
 $J_v = L_p \cdot A \cdot \Delta P$

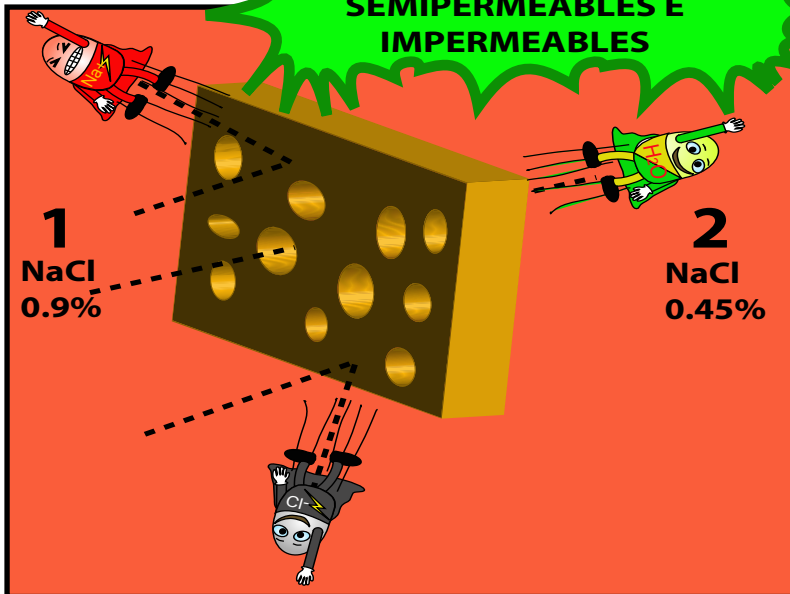
Donde: L_p es el coeficiente de conductividad hidráulica, ya que aquí estamos usando como fuerza impulsora una presión, la presión osmótica (P_o). Entonces, hablando siempre en términos de presión osmótica:

Que la fuerza impulsora te acompañe



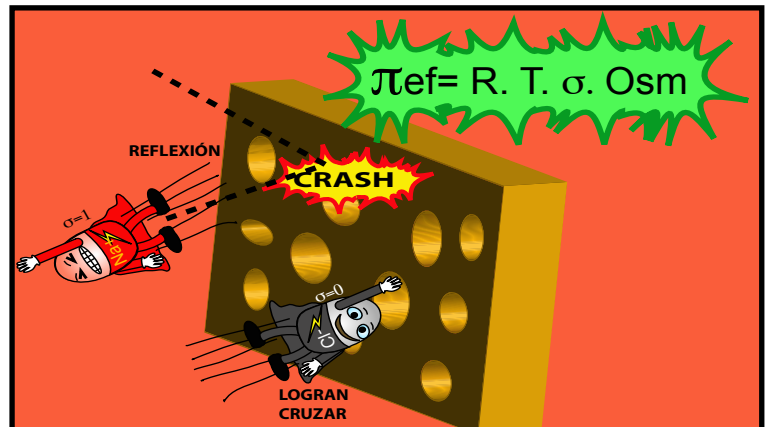
$$J_v = L_p \cdot A \cdot R \cdot T \cdot \Delta Osm$$

MEMBRANAS PERMEABLES SEMIPERMEABLES E IMPERMEABLES



Como se comentó inicialmente, el fenómeno de ósmosis ocurre cuando se colocan dos soluciones de distinta concentración, separadas por una membrana permeable al agua e impermeable al soluto, es decir, una membrana semipermeable. Sin embargo, es difícil encontrar una membrana que sea permeable al agua e impermeable a todos los solutos, por lo que la ecuación: $P_o = R \cdot T \cdot Osmolaridad$ sólo es válida para una membrana en la que los solutos son impermeables.

Si hay alguna permeabilidad al soluto, por mínima que sea, se encontrará un valor de presión osmótica menor al que calculamos con esta ecuación. Este factor de error se corrige introduciendo un coeficiente de reflexión (σ): $P_{oef} = R \cdot T \cdot \sigma \cdot Osmolaridad$. Donde σ es el coeficiente de reflexión (σ de Staverman) y P_{oef} es la presión osmótica efectiva. Se llama de reflexión, ya que está en relación con la fracción de las moléculas del soluto que, en su movimiento dentro de un compartimento, chocan con la membrana, no la atraviesan y se reflejan hacia el mismo compartimento. Si la reflexión es total, la membrana es impermeable a este soluto y $\sigma = 1$. Si la membrana es totalmente permeable a este soluto, $\sigma = 0$.



La consecuencia directa de un coeficiente de reflexión con valor <1 será una disminución de la presión osmótica efectiva, por lo que σ se puede calcular como:

$\sigma = (P_o \text{ real}) / (P_o \text{ calculada})$. Donde: P_o real es la presión osmótica que se mide, que se determina en la práctica. P_o calculada es la presión estimada por la ecuación de van't Hoff. Así σ se puede definir como:
 $\sigma = (\text{osmolaridad real}) / (\text{osmolaridad calculada})$

Como el flujo se afecta por el gradiente osmótico, se puede calcular de acuerdo a la siguiente ecuación:
 $J_v = P_{osm} \cdot A \cdot \sigma \cdot R \cdot T \cdot \Delta \text{osmolaridad}$

$$J_v = P_{osm} \cdot A \cdot \sigma \cdot R \cdot T \cdot \Delta Osm$$



VALORES DE LA PRESIÓN OSMÓTICA

Por ejemplo, la presión osmótica que aparece entre las dos caras de una membrana se puede calcular en atmósferas a 20 °C (293 K), con la ecuación:

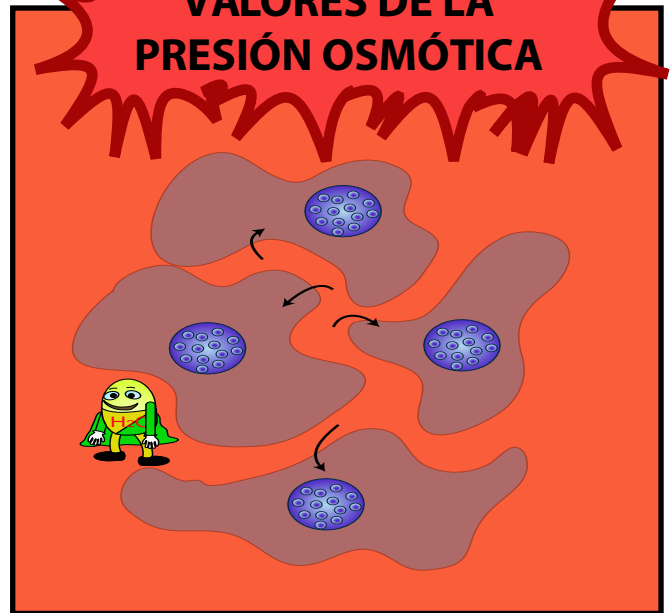
$$\Delta P_o = R \cdot T \cdot \sigma \cdot (Osm_1 - Osm_2)$$

$$\Delta P_o = ((0,082 \text{ L} \cdot \text{atm}) / (\text{mol} \cdot \text{K})) (293 \text{ K} \cdot (0,285 \text{ mol/L} - 0,144 \text{ mol/L}))$$

$$\Delta P_o = 3,295 \text{ atmósferas.}$$

Este es un valor enorme si se compara, por ejemplo, con el valor de la presión arterial en el ser humano. Si realizamos algunas conversiones de unidades podemos decir que la presión en la aorta, que es de 100 mm Hg (milímetros de mercurio), equivale a la presión osmótica que desarrolla una diferencia de osmolaridad de 5,5 mOsm /L.

La presión osmótica es, por lo tanto, una fuerza impulsora poderosísima que determina el flujo de volúmenes muy importantes de agua, por ejemplo, desde el intersticio al interior de los capilares, desde la luz del túbulo colector del riñón al capilar peritubular, o desde la luz del intestino a la sangre.

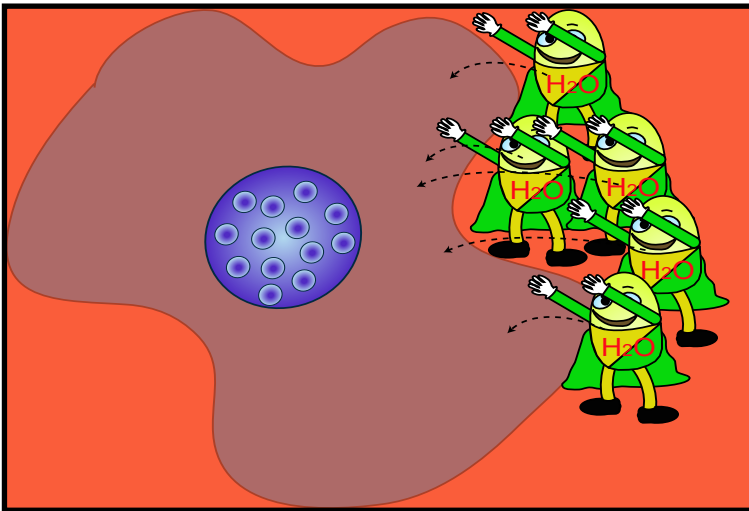


CONSECUENCIAS DEL FLUJO OSMÓTICO



Lo que ocurre en cada uno de los compartimentos cuando se establece un flujo osmótico, dependerá en gran medida de los volúmenes que tengan cada uno de los compartimentos.

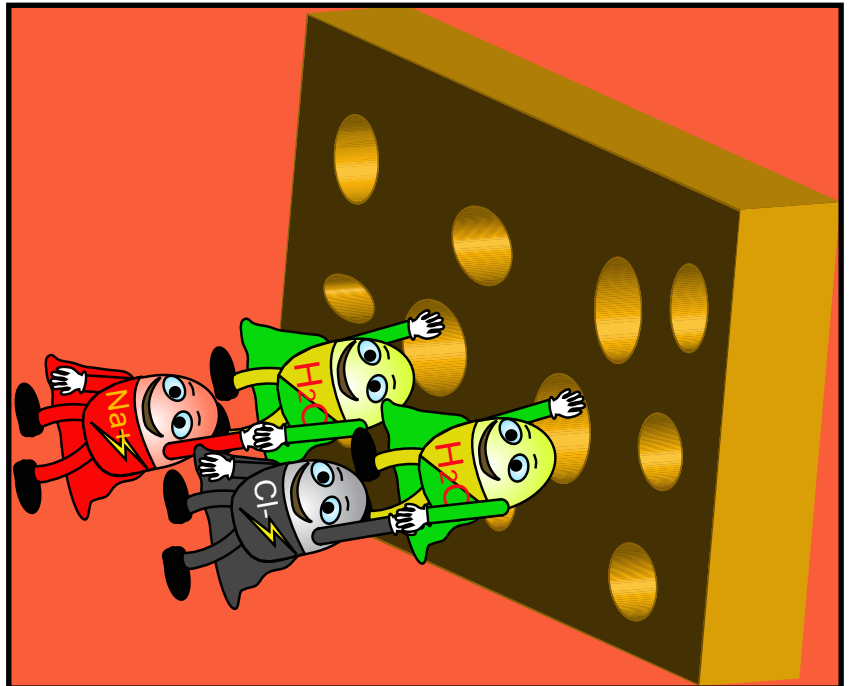
a) Si los compartimentos tienen volúmenes similares. Cuando se establece un flujo osmótico entre dos compartimentos de volúmenes similares, el agua que pasa de uno a otro determinará que el volumen de uno de los compartimentos aumente y su concentración de solutos disminuya, mientras en el otro compartimento, el volumen disminuye y la concentración aumenta. Después de un tiempo suficiente, se llegará a una condición en la que se igualen en ambos lados, la osmolaridad y, como consecuencia, la concentración de agua y la presión osmótica. Aceptando que se movió sólo agua, se puede calcular la concentración de equilibrio. La concentración final sería la misma que se alcanzaría si se quitara la membrana y se mezclaran las soluciones.



b) El volumen de uno de los compartimentos es infinito con respecto al otro.
Una célula colocada en una solución, con el tiempo tendrá la misma osmolaridad de la solución. Si volvemos a colocar a la célula en otra solución con otra osmolaridad se establecerá un flujo osmótico, por lo que el volumen de la célula cambiará deshidratándose o hinchándose, dependiendo de la diferencia de osmolaridades entre la célula y el medio. Como el volumen de la célula es pequeño, el cambio de osmolaridad en la célula es notorio, mientras que el cambio en la solución es imperceptible.

c) Flujo de soluto por arrastre
El flujo osmótico es, como se dijo, un flujo a través de poros de cuyo radio dependerá qué moléculas pueden pasar.

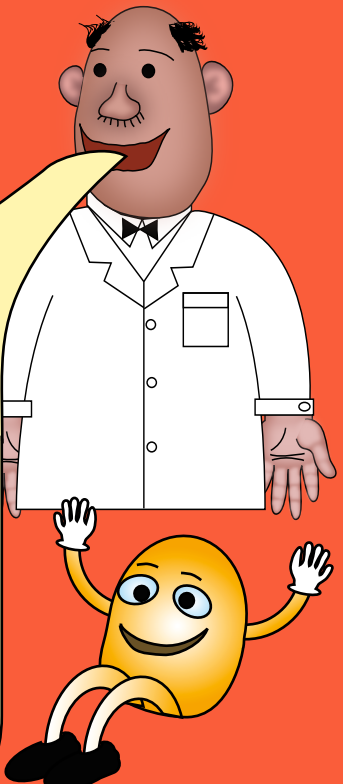
Imaginemos el poro o canal de un capilar con un radio de 70 angstroms ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$), por el que puede pasar agua, Na^+ , o glucosa, pero no proteínas y glóbulos. Las sustancias que son capaces de ejercer una presión osmótica efectiva entre los espacios intravascular y el intersticial solamente son las proteínas plasmáticas, lo que determinaría un movimiento de agua hacia el espacio intravascular.



SOLUCIONES ISOTÓNICAS E ISO-OSMÓTICAS



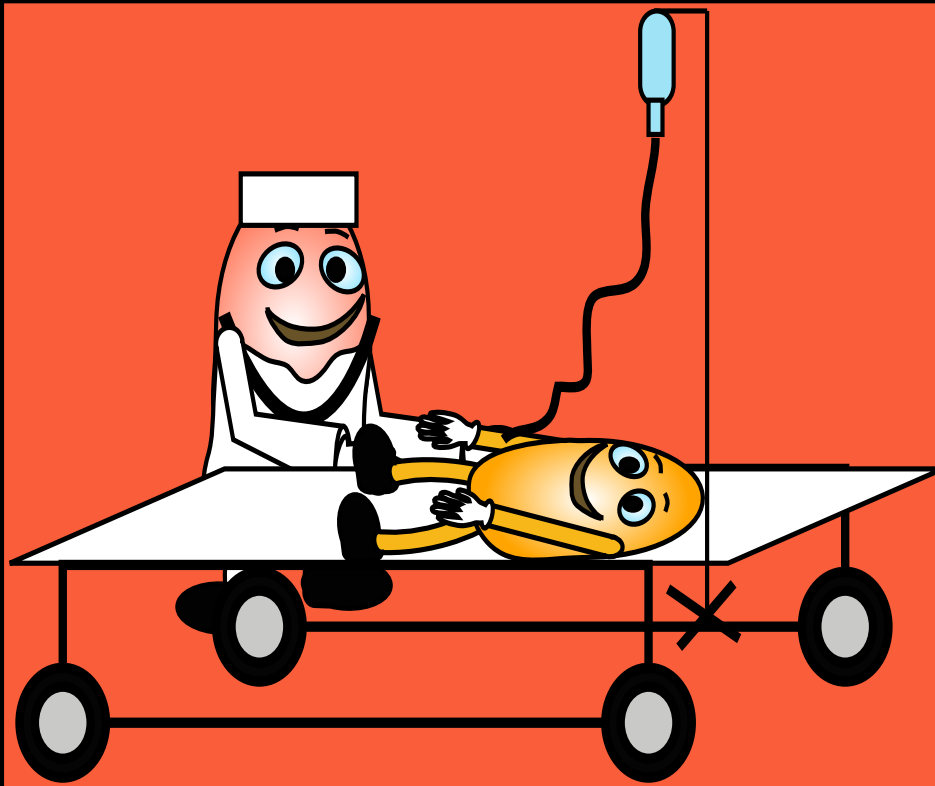
Una solución será isotónica cuando una célula, sumergida en ella, no cambie su volumen debido a que no ha habido un flujo neto de agua desde adentro hacia afuera, o viceversa. Esto quiere decir que la presión osmótica efectiva es la misma adentro que afuera. De allí el nombre de isotónica: de igual presión. Para las membranas impermeables a los solutos, con un coeficiente de reflexión de $\sigma = 1$, es fácil demostrar que las soluciones isotónicas tienen la misma osmolaridad que el interior celular: son iso-osmóticas con respecto a él.



En medicina es muy común usar soluciones isotónicas en los casos de intervenciones quirúrgicas, quemaduras, diarreas y vómitos repetidos, para corregir las alteraciones del balance hidroelectrolítico. La solución de NaCl al 0,9% y la de dextrosa al 5% tienen una osmolaridad cercana a la del plasma humano y, por ello, son iso-osmóticas. También son isotónicas, ya que no producen, al ser inyectadas por vía endovenosa, cambios notables en el volumen de los glóbulos rojos u otras células.

Un caso diferente sería el de una solución iso-osmótica de urea. Como su peso molecular es de 60 g/mol, para preparar una solución de urea de 300 mOsm/L se deben pesar 16 g de urea y disolverlos para formar un litro de solución. Si se mide la osmolaridad de esta solución en un osmómetro, se encontrará que es una solución iso-osmótica con respecto al plasma humano. Sin embargo, si se colocan glóbulos rojos en esta solución, hay un aumento rápido del volumen globular hasta producir la ruptura de la membrana.

La explicación de este fenómeno es bastante sencilla: el coeficiente de reflexión de la urea en los eritrocitos es de alrededor de $\sigma = 0,20$. Por lo tanto, si bien la osmolaridad calculada es 300 mOsm/L, la osmolaridad real es de tan sólo 60 mOsm/L y el agua tiende a entrar en los glóbulos. En este caso podemos decir que la solución de urea de 16 g/L es iso-osmótica, pero no isotónica.



Las soluciones utilizadas en medicina generan partículas con un coeficiente de reflexión, en las membranas celulares, de $\sigma = 1$ o muy cercano a él. Por lo tanto, se puede aceptar el uso en la jerga médica de isotónico como sinónimo de iso-osmótico. Sin embargo, existen excepciones y esto no siempre es válido por lo que se debe estar muy alerta. Por ejemplo, las sales de KCl o de CaCl_2 se usan casi siempre

en concentraciones bajas, de modo que influyen poco en la osmolaridad total de la solución, pero su σ puede ser < 1 .

Bibliografía:

Libros.-

Arons P.S., Boron W.F., Boulpaep E.L., Capítulo 5: "Transporte de Solutos y Agua", En: "Fisiología Médica", Eds. Boron W.F. y Boulpaep E.L., 3ra ed, 2017, USA.

Artículos.-

Hill A. Osmosis. Q Rev Biophys. 1979 Feb;12(1):67-99. doi: 10.1017/s0033583500002602. PMID: 386410.

Vujovic P, Chirillo M, Silverthorn DU. Learning (by) osmosis: an approach to teaching osmolarity and tonicity. Adv Physiol Educ. 2018 Dec 1;42(4):626-635. doi: 10.1152/advan.00094.2018. PMID: 30303411.

Kiil F. Molecular Mechanism of Osmosis. Am J Physiol. 1989 Apr;256(4 Pt 2):R801-8. doi: 10.1152/ajpregu.1989.256.4.R801. PMID: 2705569

Ricco P, Hicks PD. Streamwise-travelling viscous waves in channel flows. J Eng Math. 2018;111(1):23-49. doi: 10.1007/s10665-018-9953-y. Epub 2018 Feb 23. PMID: 30996402; PMCID: PMC6434986.

Videos .-

<https://www.youtube.com/watch?v=ZwbDLGdxktw>

<https://www.youtube.com/watch?v=xcDNAxwIMKY>