

GESPRACHE PODCAST

VITAL PROPERTIES OF WATER

Prologo de

Zaher Machado | [@zahemachado_research](#)

Agua...

Proviene del latín vulgar *aqua*, que a su vez tiene una raíz protoindoeuropea *akwā-*, que significa "agua" o "río". En japonés, *mizu*, su *kanji* tiene una característica especial: su trazo central simboliza la corriente, mientras que las líneas a los lados representan las ondas del agua, mostrando su **fluidez y dinamismo**.

Quizás el compuesto químico más común del planeta Tierra, ya que representa el 70% de su superficie, y posee varias características muy interesantes... Que son el tema central de esta prepa...

Hoy en *Gesprache Podcast*... **Vital Properties of Water**.

Primero que nada, delimitar sus propiedades en **QUÍMICAS** (las que se refieren a la ordenación de sus átomos de manera conjunta, así como sus interacciones con otros elementos) y **FÍSICAS** (que se refieren de forma concreta a las interacciones del agua con el entorno, y sus procesos de intercambio de energía).

Para el entendimiento de la **Fisiología Humana**, muchas de estas propiedades deben ser esclarecidas... Y ese es el eje central de este material: desentrañar las maravillas de este maravilloso fluido en muchos contextos, que puedan describir la magia detrás de nuestra tan intrincada fisiología.

PROPIEDADES QUÍMICAS: La Magia de la Polaridad

Decir en principio que la molécula de agua se conforma en principio de 3 átomos unidos entre sí por fuerzas de unión covalentes.

Concepto Clave: El Dipolo Eléctrico

Esta unión crea un **dipolo eléctrico** porque el Oxígeno es mucho más electronegativo que el Hidrógeno. Es decir, el Oxígeno "jala" con más fuerza los electrones compartidos, dándole una carga parcial negativa (δ^-), y dejando a los Hidrógenos con cargas parciales positivas (δ^+).

Esta distribución asimétrica de la carga le otorga un **momento dipolar** (medida vectorial de la separación de cargas opuestas en una molécula o sistema, indicando su polaridad) **de 1.84Deybe (1.84 Coulomb por distancia que separa las carga)** y una **Constante Dieléctrica de 80Faradios/metro cuadrado**... Lease que **Faradio = Coulomb(C) / voltio (V)**. Un valor excepcionalmente alto comparado con otras moléculas. Esta constante es la medida de la capacidad del agua para reducir la fuerza de atracción entre iones, lo que le permite disolver y separar cargas, actuando como el **solvente universal** de la vida.

Molécula	Momento Dipolar (D)	Constante Dieléctrica (ϵ_r o F/m ²)	Tipo de Solvente
Agua (H₂O)	1.84	~80	Muy Polar
Metanol (CH ₃ OH)	1.70	~33	Polar

Etanol (C ₂ H ₅ OH)	1.69	~25	Polar
Acetona (C ₃ H ₆ O)	2.88	~21	Polar
Cloroformo (CHCl ₃)	1.04	~5	Ligeramente Polar
Benceno (C ₆ H ₆)	0	~2.3	No Polar

La **Constante Dieléctrica** es la medida de la capacidad del agua para reducir la fuerza de atracción entre iones, lo que le permite disolver y separar cargas. Como pueden ver, el valor de 80 del agua es, de lejos, el más alto. Esto significa que el agua es extraordinariamente efectiva para aislar iones, permitiéndole actuar como el **solvente universal de la vida**. El alto **Momento Dipolar** refuerza esta capacidad, indicando la fuerte separación de carga dentro de la propia molécula.

Concepto Clave: Geometría Molecular del agua.

Y quizás se pregunten, ¿Cómo se forma una molécula de agua? Pues bien, se puede visualizar la reacción en forma de un diagrama de Lewis de la siguiente manera:

Hidrogeno (H) : $Z = 1 \rightarrow 1s^1$

→ H tiene 1 electrón de valencia

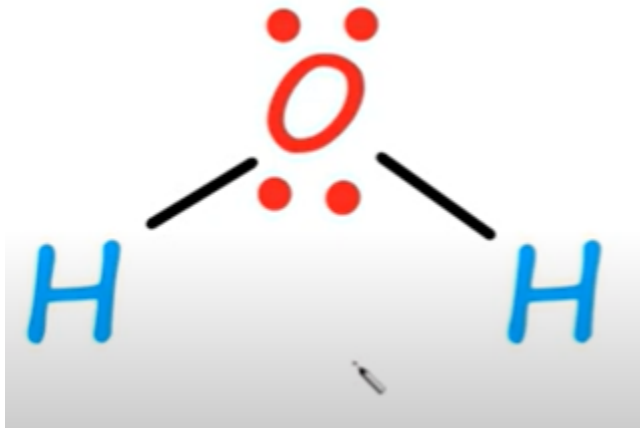
Oxigeno (O) : $Z = 8 \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^4$

→ O tiene 6 electrones de valencia

El hidrogeno busca alcanzar la configuración electrónica del Helio, por lo que necesita $2e^-$ para lograrlo. Mientras que el oxígeno busca tener $8e^-$, siguiendo la *regla del octeto*, y solo disponible de $6e^-$ ($2 + 4 = 6e^-$)



Una vez transcurrida la reacción, nos queda una molécula de agua, con su respectiva geometría molecular.

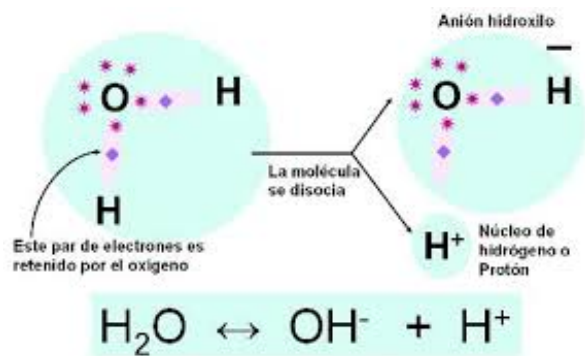


En forma de una ecuación química balanceada se vería algo así:

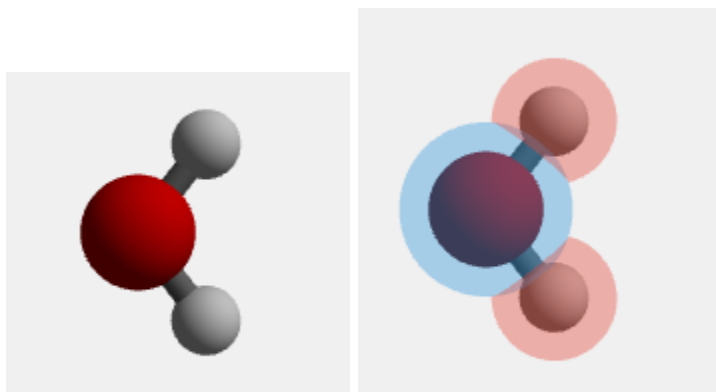
La energía libre de Gibbs estándar de formación (ΔG_f°) del agua líquida en promedio es **negativa** en condiciones estándar, lo cual nos habla de que es un proceso exergónico irreversible.

Signo de ΔG	Implicación	Espontaneidad

$\Delta G < 0$	Exergónico	Espontáneo (la reacción procede hacia adelante)
$\Delta G > 0$	Endergónico	No espontáneo (el proceso es espontáneo en la dirección inversa)
$\Delta G = 0$	Equilibrio	El sistema está en equilibrio (sin cambio neto)

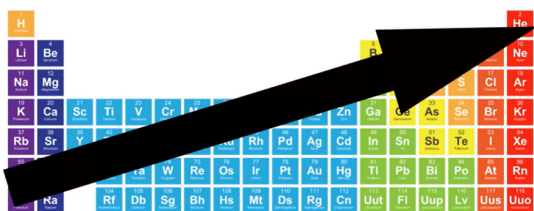


Su comportamiento como un dipolo eléctrico se describe a través de su angulación de 104.5°



Se describe que posee un dipolo positivo en relación a sus protones (2H) y un dipolo negativo en relación al oxígeno (O).

La atracción electroquímica entre una molécula de $2H$ y un átomo de O se debe a una propiedad de los elementos denominada **Electronegatividad**, que describe la capacidad de un átomo para captar un electrón. Átomos con un radio atómico más pequeño (por ende, una mayor fuerza electromagnética sobre sus orbitales producto de una mayor presencia de protones en el núcleo, tendrán una mayor electronegatividad, siendo algunos ejemplos de importancia biológica el Oxígeno, el Nitrógeno el carbono y el **Fluor (uno de los elementos más electronegativos)**.



electronegativity increases up and right

La modificación de este ángulo de 104.5° en la molécula de agua hasta un máximo de 109° puede producir cambios en la densidad importantes en la molécula.

Concepto Clave: Autoprotólisis y pH

Este fenómeno, conocido como **autoprotólisis del agua** ($H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$) ocurre una vez formada el agua, y es una reacción con una energía libre de Gibbs positiva. Por tanto tiene curso reversible.

En agua pura, esta disociación es tan baja que la concentración de H^+ y OH^- es 10^{-7} molar. Aplicando la escala logarítmica, esto nos da un **pH de 7.0 (neutro)**.

Concepto Clave: Densidad Máxima a $4^\circ C$

Cada molécula de agua se caracteriza por poseer un ángulo de 104.5° entre una molécula de hidrógeno y otra... No siendo completamente planas entre sí... Y como verán en nuestro simulador, es posible modificar este ángulo, sobretodo disminuyendo la temperatura de la molécula (lo cual tendrá un efecto sobre el volumen que esta abarca en el espacio).

Para ejemplificarlo, quiero que imaginen una cota de malla elástica y quiero que la estiren... Al estirla, el estrechamiento entre sus componentes se hace menor (haciendo cada vez más llano el ángulo entre sus uniones), pero el área que aborda es mayor. Si sabemos que área es igual a volumen, y que densidad es el cociente o la razón entre la masa de un objeto y su densidad, al estirar la malla no cambiamos su masa... Sin embargo, cambiamos la cantidad de espacio que cubre... así pues, su densidad será menor.

Esto es un fenómeno que se describe en por qué el hielo flota... El agua líquida alcanza su **densidad máxima** ($1.00000g/ml$) a $4^\circ C$. Cuando se congela a $0^\circ C$, las moléculas se ordenan en una estructura cristalina abierta (la cota de malla se separa, el ángulo pasa a 109°), lo que

disminuye la densidad (0.91700g/ml) y permite que el hielo flote, un fenómeno crucial para la vida en los cuerpos de agua fríos.

Puentes de Hidrógeno y Solvatación

Otra cosa importante a tener en cuenta sobre el agua es su capacidad de producir **puentes de hidrógeno**, o lo que es lo mismo, interactuar con otras moléculas polares de forma no covalente. Es un tipo de fuerza de atracción intermolecular excepcionalmente fuerte que es vital para la estabilidad del agua. Similar a atraer los polos de un imán desde lejos... Se puede inducir al acercamiento y alejamiento entre una molécula de hidrógeno con alguna molécula electronegativa de proximidad.

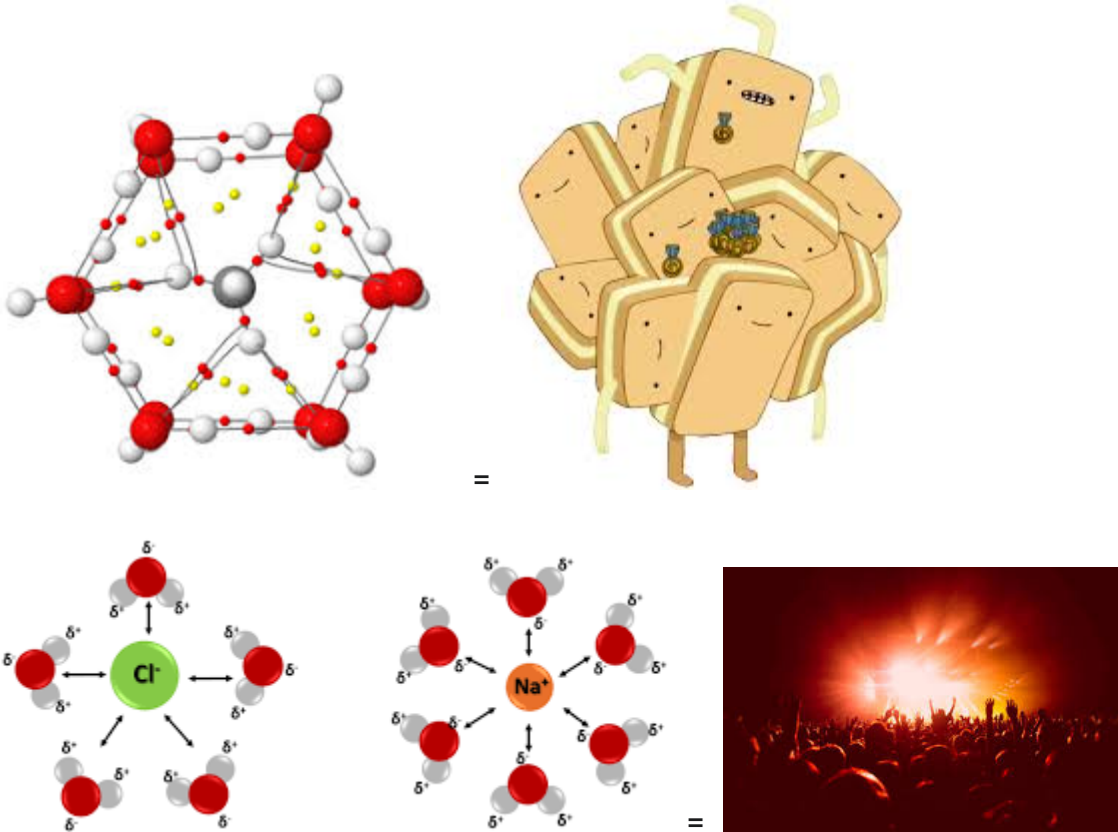
Esta electronegatividad, para aquellos que son más curiosos, es propia de una característica de los elementos, que se representa con esta *rule of thumb* en su tabla periódica... entre más hacia arriba y la derecha esté, más electronegativo es... Siendo en este caso el O el más electronegativo, mientras que el H el menos electronegativo...

Como verán, existen otros metales no reactivos con quienes el agua es capaz de interactuar... Léase Nitrógeno, Oxígeno, o Carbono... Esto en el cuerpo tiene importancia, puesto que ellos son los principales elementos conformacionales de las moléculas de la vida, cosa que ustedes ya han visto a grandes rasgos a lo largo de la carrera... así que lo dejaremos de un lado.

Para reaccionar con metales alcalinos como el caso de los halógenos, el agua recurre a la creación de estructuras llamadas **esferas de solvatación** (o hidratación)... En las cuales, dada su carga eléctrica, el agua es capaz de captar los iones de la sal en una estructura esférica preciosa, como la que ven aquí...

Ojo, es diferente de un clatrato... Donde, aun si se parecen... Es diferente... Mientras que el clatrato enjaula la molécula huésped en una red cristalina de agua, la esfera de solvatación la aísla y disuelve en la solución, sin impedirle moverse del todo... **(fue pregunta de examen)**

Mientras que una se basa en encierro físico y atrapamiento (como ser tacleado y aplastado entre un montón de James), otra se parece más a ser aislado de tu pareja en un concierto de Coldplay...



Lo que sí quiero que se lleven, es que la energía expresada por esta unión no covalente es relativamente pequeña, pero en conjunto ofrece estabilidad a las moléculas de agua, permitiendo que entre en varios estados de conformación...

- **Sólido (Hielo):** Donde las moléculas tienen hasta **4 puentes de hidrógeno** que las estabilizan, forman estructuras simétricas o cristales, y su ángulo pasa de 104.5° a 109° , disminuyendo su densidad.
- **Líquido:** Donde hay una mayor fluidez, pero sin pérdida de los puentes de hidrógeno que estabilizan a la molécula... Lo que conserva el carácter **viscoso** del agua.
- **Gaseoso (Vapor):** Donde estos puentes de hidrógeno colapsan, y chocan con las paredes que lo contienen de forma caótica.

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA.

Llegados a este punto, podemos empezar a jugar con sus propiedades físicas.

Estos cambios de fase son reflejados en este simulador donde, al aumentar la temperatura, vemos que llegado a cierto punto se meseta, dándonos consigo un cambio de fase... Quiero que presten atención a los puntos en los cuales la temperatura pasa de una meseta a otra... Es curioso, puesto que nos permite ver varias cosas acerca de su función termorreguladora.

Propiedad Clave: Alto Calor Específico (Función Termorreguladora)

Para que ebulle, necesitamos que llegue a 100°C , mientras que para que congele necesitamos que llegue a 0°C (Nota: el T de congelación es 0°C).

Esto es interesante, porque en ambos puntos, el calor específico del agua es el mismo... exactamente **$1 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$** ($4.18 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{K}$)... Lo cual es bastante emocionante, comparado con cifras modernas actualizadas entre diversos elementos.

Sustancia	Calor Específico ($\text{J/g} \cdot ^{\circ}\text{K}$ a 298K)	Calor Específico ($\text{cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$)
Agua (H_2O)	4.18	1.00
Hierro (Fe)	0.45	≈ 0.11
Plata (Ag)	0.24	≈ 0.06
Plomo (Pb)	0.13	≈ 0.03

Esta capacidad de absorber mucho calor sin cambiar drásticamente su temperatura se debe, una vez más, a los puentes de hidrógeno. Esta es la base de la **termorregulación** en el cuerpo humano. Esta capacidad de conducir el calor se debe a su constante de conducción de **$0.58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$** (a 20°C)... Lo cual le da buena capacidad de conducir el calor.

Sudor, Presión de Vapor y Enfriamiento

La presión, recordemos que es la fuerza ejercida por un sistema por unidad de área... Recuérdenlo. A mayor presión y mayor área, la presión no cambia...

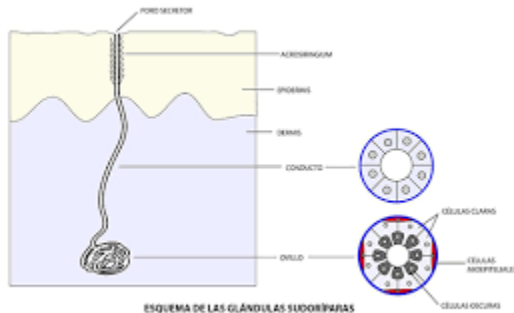
Cuando calentamos el agua, la presión de vapor del sistema tiene 2 posibles estados... En relación a la presión ejercida por el aire ambiente o presión atmosférica...

- Si es menor que la atmosférica, decimos que el agua se está **evaporando** (enfriamiento).
- Si es igual o mayor que la atmosférica, decimos que el agua se está **ebullendo** (100°C a 1 atm).

Lo cual es un concepto que nos lleva a nuestro primer correlato clínico, que es el sudor...

El sudor, es un compuesto biológico secretado principalmente por nuestras **glándulas sudoríparas ecrinas y apocrinas**. El sudor ecrino es 99% agua e **hipotónico** (bajo en Na^+ , Cl^-).

La manera en que sube a través del ducto de excreción es por medio del fenómeno de **capilaridad** (combinando **Adhesión** y **Cohesión**), lo que permite que ascienda el líquido. Esto es complementado por las contracciones de las células **mioepiteliales** del conducto que poco a poco ayudan a que el líquido ascienda hasta llegar a tu piel...



Una vez en la superficie, el sudor (especialmente el apocrino, rico en lípidos y proteínas) es metabolizado por bacterias:

- La principal bacteria responsable del olor es el ***Corynebacterium jeikeium***.
- Esta bacteria metaboliza el sudor, produciendo el **ácido 3-metil-2-hexenoico (3M2H)**, el compuesto volátil que genera el olor corporal.
- Hay diferencias en la composición del olor: los **hombres** tienden a producir más **3M2H** (olor "a queso" o ácido), mientras que el sudor en **mujeres** contiene más **tioles** (olor "sulfuroso" o "a cebolla").

Correlato Clínico: Enfriamiento Evaporativo

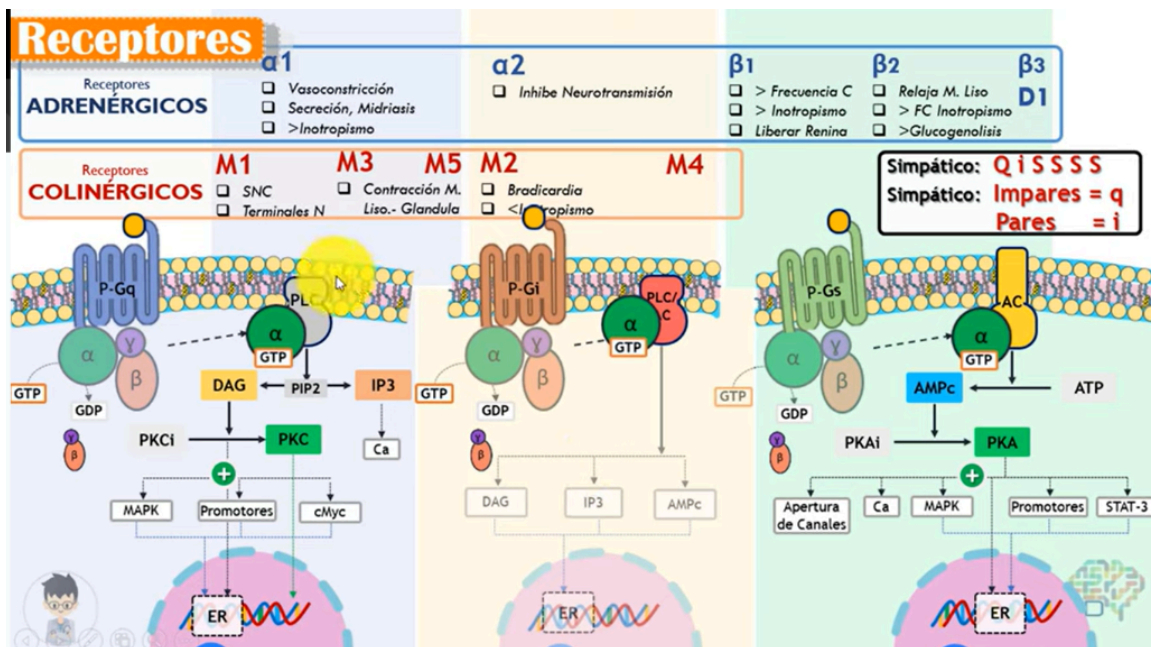
En contacto con el aire ambiente, la película de agua se vaporiza. El agua necesita una enorme cantidad de energía para pasar de líquido a gas (su Alto Calor Latente de Vaporización: $\approx 580 \text{ cal/g}$), y esa energía la extrae directamente del cuerpo, captando mucho calor del ambiente, y protegiéndonos del calor incesante del día. Este es el mecanismo de enfriamiento evaporativo.

Si no tuviéramos sudor... Un curioso fenómeno que ocurre es el **síndrome anticolinérgico** o **síndrome del sombrero loco**, donde la **anhidrosis** (falta de sudor) provoca un aumento peligroso de la temperatura corporal.

Pausa Clínica: Fisiopatología del Síndrome Anticolinérgico

El sudor se activa por la Acetilcolina (ACh) sobre receptores Muscarínicos (M_3) de las glándulas. El síndrome anticolinérgico es causado por sustancias que bloquean estos

receptores. El bloqueo anula la estimulación de la glándula, causando anhidrosis e inhibiendo el enfriamiento evaporativo. Esto lleva a una hipertermia peligrosa, ya que el cuerpo pierde su principal mecanismo de disipación de calor.



Tensión Superficial y el Pulmón

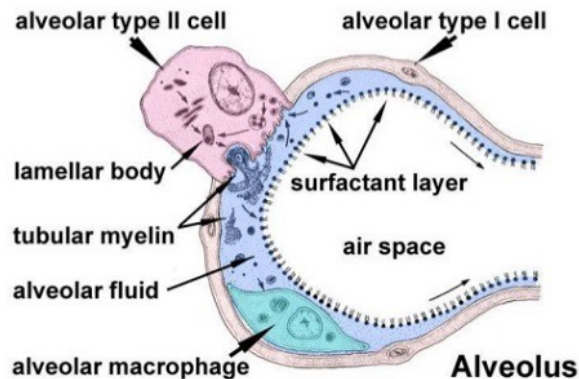
Lo que la mantiene junta es el fenómeno de fuerza de cohesión llamado **Tensión Superficial**, con un valor de **75.7 dinas · cm⁻¹** (a 0°C)... Que le permite conservar su forma aun estando a merced de fuerzas como la gravedad (por medio de su fuerza peso)...

Como todo, tiene un lado bueno y un lado oscuro... Por lo menos, este carácter amortiguador le da buena función en las articulaciones, como es el caso del **líquido sinovial**.

Correlato Clínico: Surfactante

Recordando de Embriología, “• Hacia las semanas 20 a 22, los neumocitos tipo II comienzan a producir surfactante pulmonar. La deficiencia de surfactante da lugar al síndrome de dificultad respiratoria (SDR) o enfermedad de la membrana hialina (EMH).”

Los neumocitos tipo II, producen un llamado dipalmitoil-fosfatidil colina, o sea... Surfactante... Esta molécula disminuye la tensión superficial del agua que recubre el alveolo, impidiendo que esta tensión lo haga colapsar, permitiendo que el intercambio gaseoso ocurra.



Si se pierde esta función... vemos imágenes radiolúcidas de un pulmón que ni con oxigenoterapia mejora perfusión, cosa que compromete la vida del bebé...





TABLA COMPARATIVA DE PROPIEDADES CLAVE

Propiedad	Naturaleza	Explicación Breve	Importancia Fisiológica
Polaridad / Dipolo	Química	Distribución asimétrica de carga (δ^+/δ^-).	Actúa como Solvente Universal , disolviendo sales e iones.
Puentes de Hidrógeno	Química/Física	Atracción fuerte no-covalente entre H y O vecinos.	Causa cohesión, adhesión y tensión superficial.
Alto Calor Específico	Física	Gran cantidad de energía requerida para elevar la T.	Termorregulación corporal : amortigua cambios de T.
Alto Calor Latente de Vaporización	Física	Gran cantidad de energía requerida para pasar de líquido a gas.	Enfriamiento evaporativo efectivo a través del sudor.
Tensión Superficial	Física	Cohesión máxima entre moléculas de la superficie.	Amortiguación (sinovial) y debe ser combatida por el surfactante (pulmón).

FISIOLÓGÍA: Compartimentos del Agua Corporal

Ahora sí, a modo de cierre... Y darles un pequeño abreboca de lo que representa el agua para la fisiología, quiero que vean este diagrama...

Y vean que el cuerpo humano está compuesto en un **60% de agua**, que representa aproximadamente 42L para una persona de 70 Kg... Y que, debido a diferencias anatómicas entre hombre y mujer, hay más agua en uno que en otro...

En hombres el porcentaje de agua es mayor por la presencia de más masa muscular... Y en la mujer disminuye por una mayor presencia de tejido adiposo.

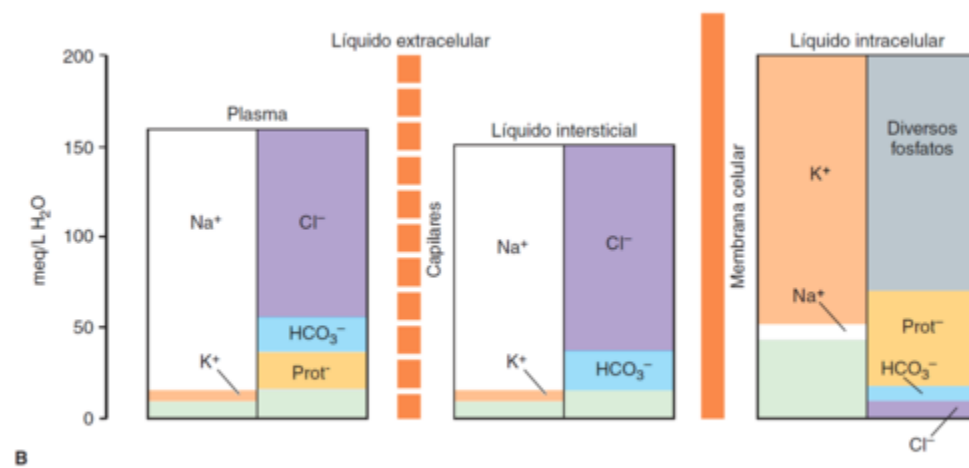
Al pensar en el flujo de esta agua a través del cuerpo, los fisiólogos pensaron el cuerpo como un sistema de compartimentos, con unos "límites" dados por las diferentes estructuras corporales...

Este concepto es vital, porque nos permite entender el agua corporal total no como un ente unicompartmental, sino como un ente dinámico, que fluye, y que está encerrado en varios espacios...

Compartimentos del Agua Corporal Total (42L):

Compartimento	Porcentaje del ACT	Volumen (≈L)	Composición Iónica Clave	Función Principal
Líquido Intracelular (LIC)	66%	≈28	Rico en K ⁺ , Mg ²⁺ , compuestos fosforados.	Sitio de las reacciones metabólicas celulares.
Líquido Extracelular (LEC)	33%	≈14	Rico en Na ⁺ , Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻ .	Es el Medio Interno (Claude Bernard), que baña las células.
→ Líquido Intersticial	(≈75% del LEC)	≈10.5		Intercambio directo entre capilares y células.

→ Plasma	(≈20% del LEC)	≈2.8		Transporte de gases, nutrientes y desechos.
Líquido Transcelular	1%	≈0.4		Fluidos especializados (LCR, sinovial, pleural, etc.).



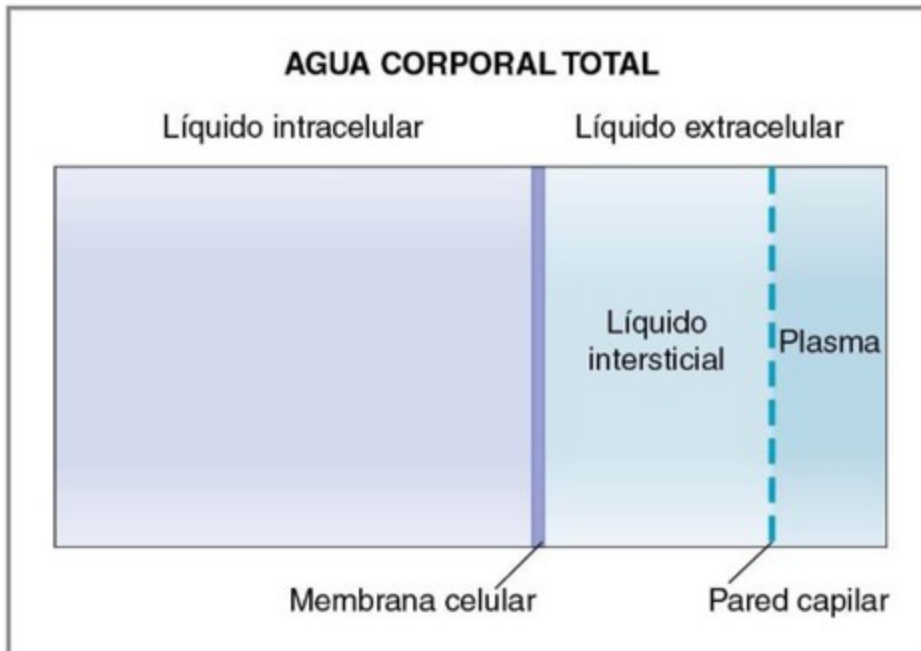


Figura 1-1 Compartimentos de los líquidos corporales.