

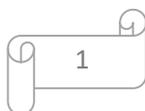
Difracción de Rayos X y estructura de Moléculas Biológicas

“FISICA”

Carrera: Licenciatura en Biología Molecular

Docente: Velasco, Hugo

Alumna: Barrozo, Ana Laura



ÍNDICE

	Número de página
1. INTRODUCCIÓN TEÓRICA	3
1.aONDAS	
1.bTIPOS DE ONDAS	
1.cCOMPORTAMIENTO COMÚN DE LAS ONDAS	
2. LOS RAYOS X	5
2.aDIFRACCIÓN DE RAYOS X Y ESTRUCTURA DE MOLÉCULAS BIOLÓGICAS	
2.bMÉTODOS DE UTILIZACIÓN EN RAYOS X	
2.cAPLICACIONES DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS	
3. CONCLUSIÓN	11
4. BIBLIOGRAFÍA	12

INTRODUCCIÓN TEORICA

Las ondas son utilizadas para comunicarnos, para poder ver, y también tienen su aplicación en el campo de la medicina, son de alta importancia para el desarrollo de la humanidad. Durante el desarrollo de este trabajo se intentara explicar la difracción de rayos X y su aplicación en la investigación (por ejemplo son utilizados en técnicas de biología molecular y estructural, etc.), para uso médico entre otros.

ONDAS

Una onda es una perturbación en un medio que se propaga a través del mismo a velocidad constante, que transporta energía pero no transporta masa y cuya velocidad es característica del medio en el cual se propaga.

Características de una onda

Frecuencia, f (1/s): es el número de oscilaciones que pasan por segundo por un punto.

Periodo, T (s): tiempo necesario para que un punto realice el ciclo completo.

Longitud de onda, λ (m): distancia entre dos puntos igualmente perturbados (dos máximos).

Amplitud, A (m): es la elongación máxima.

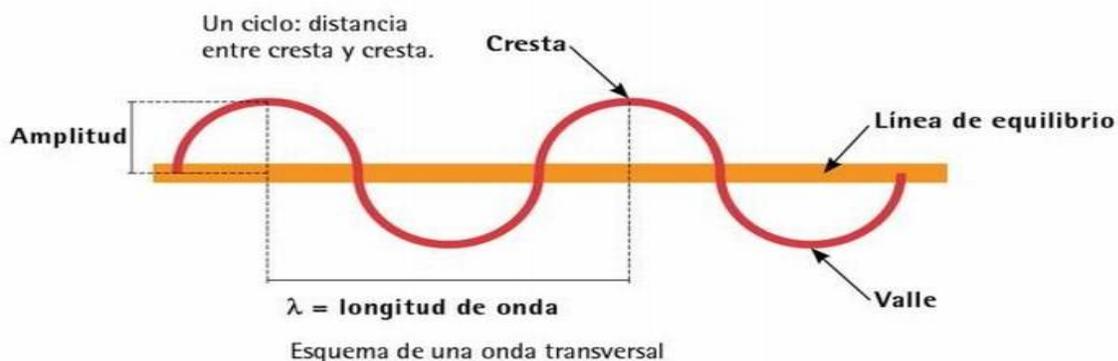
Velocidad, v (m/S): distancia recorrida por la onda por unidad de tiempo.

Cresta: Es el punto más alto de la amplitud o punto máximo de saturación de la onda.

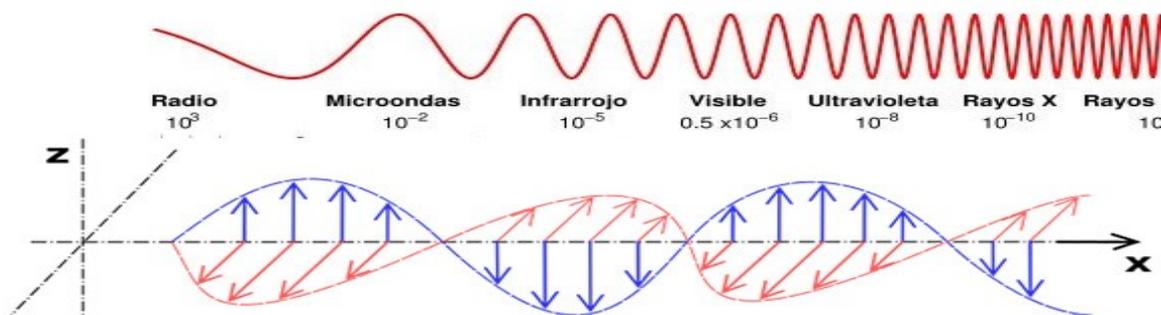
Periodo: Es el tiempo que tarda la onda de ir de un punto de máxima amplitud al siguiente.

Valle: es el punto más bajo de una onda.

Elementos de una onda



Tipos de ondas



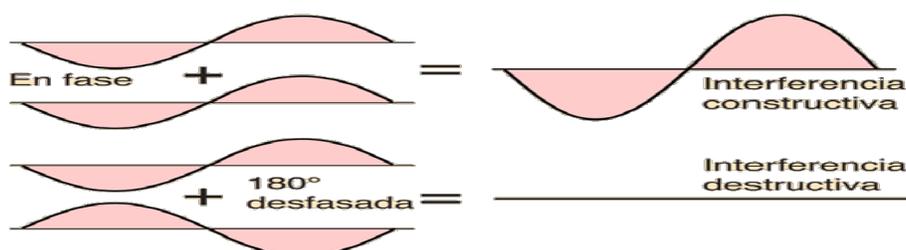
Ondas electromagnéticas: Son aquellas que se propagan por el espacio sin necesidad de un medio, pudiendo, por tanto, propagarse en el vacío. Esto es debido a que las ondas electromagnéticas son producidas por oscilaciones de un campo eléctrico en relación con un campo magnético asociado. Los campos eléctricos y magnéticos son perpendiculares a la dirección de propagación (ondas transversales). Se conocen ondas electromagnéticas cuyas longitudes de onda van desde 10^{-17} m a 10^4 m.

Ondas longitudinales: Son aquellas que se caracterizan porque las partículas del medio se mueven (o vibran) paralelamente a la dirección de propagación de la onda.

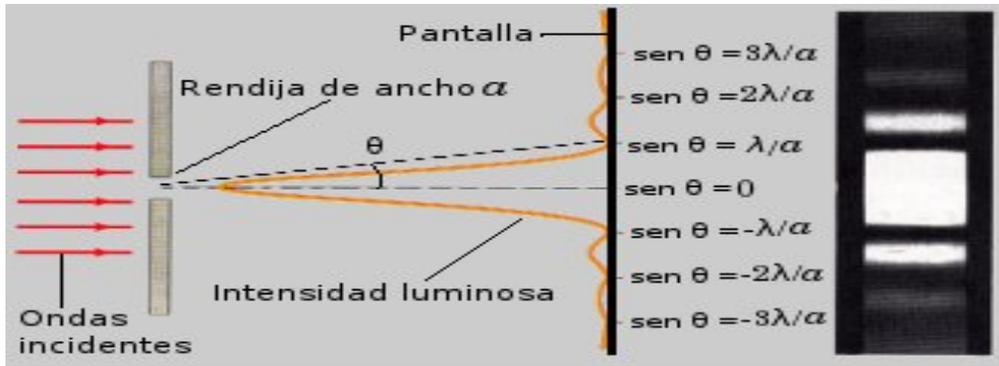
Ondas transversales: Son aquellas que se caracterizan porque las partículas del medio vibran perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda.

Comportamiento común de las ondas

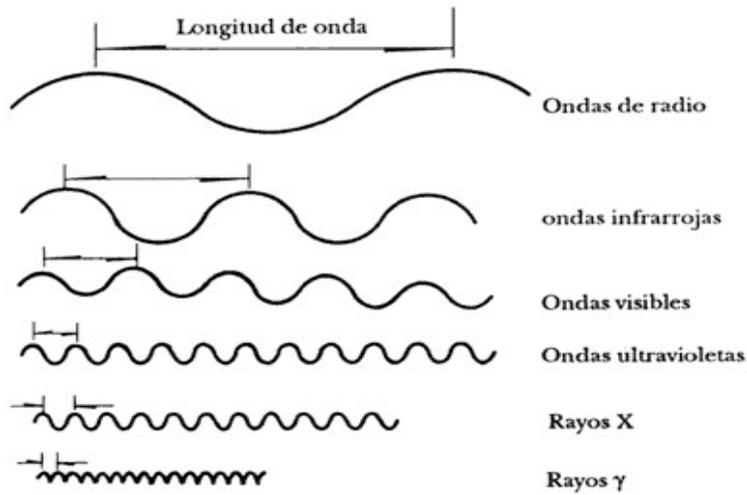
Interferencia: Al propagarse dos o más ondas por un medio, la perturbación total resultante es la suma de las perturbaciones de ambas ondas. La interferencia puede ser constructiva o destructiva. En el caso de una luz pasando por dos rendijas, la interferencia constructiva genera franjas luminosas y las destructivas, franjas oscuras.



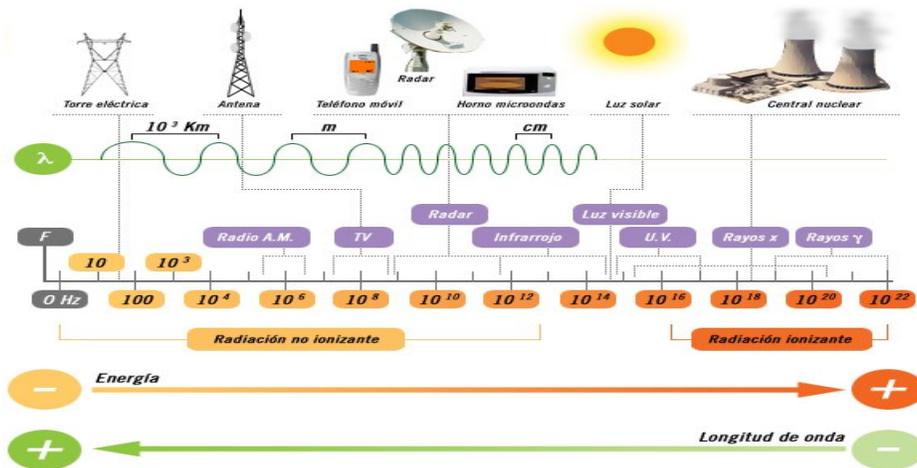
Difracción: Consiste en el curvado y esparcido de las ondas cuando encuentran un obstáculo o al atravesar una rendija. Estos efectos de la difracción son solo observables cuando se trata de obstáculos o aberturas comparables en tamaño a la longitud de las ondas consideradas. En el caso de la luz, el fenómeno de difracción tiene lugar cuando las ondas pasan a través de una rendija estrecha de ancho a , y luego incide sobre una pantalla. Las ondas de Huygens que se producen en las distintas partes de la rendija interfieren y forman en la pantalla una figura de interferencia con zonas brillante y oscuras.



LOS RAYOS X



El espectro de frecuencias.

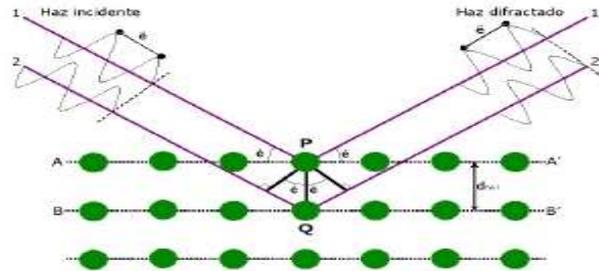


Se necesitan longitudes de onda comparables a las distancias interatómicas para poder “ver” la disposición de los átomos en una molécula. Este espaciado es típicamente de unas pocas décimas de nanómetro, donde $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$. La luz visible tiene una

longitud de onda de 400 a 700 nm, por lo tanto no puede utilizarse para el estudio de la estructura molecular.

Los rayos X son ondas electromagnéticas de aproximadamente 0,1 nm de longitud de onda. Por su gran poder de penetración, son muy útiles en radioterapia. Los mismos penetran mejor en algunos materiales que en otros. Para obtener esta clase de rayos X se utilizan maquinas que aceleran los electrones a través de potenciales de un millón de volts o más.

DIFRACCIÓN DE RAYOS XY ESTRUCTURA DE MOLÉCULAS BIOLÓGICAS



Los rayos X son reflejados por planos paralelos de átomos de un cristal.

La información obtenida a partir del estudio de la difracción de rayos X ha contribuido gradualmente a develar la estructura de las complicadas moléculas biológicas, tales como proteínas y ADN, portador este último del código genético.

En un cristal sencillo los átomos están arreglados de manera regularmente cubica, y separados entre sí una distancia d . Un haz de rayos X incide sobre el cristal con un ángulo θ con respecto a la superficie, los dos rayos mostrados se reflejan en dos planos adyacentes de átomos. Los dos rayos interferirán constructivamente si la distancia extra que recorre el rayo I es mayor que la trayectoria que recorre el rayo II, en un múltiplo entero de la longitud de onda, la interferencia constructiva se presentara cuando:

$$m\lambda = 2. d \text{sen}\theta$$

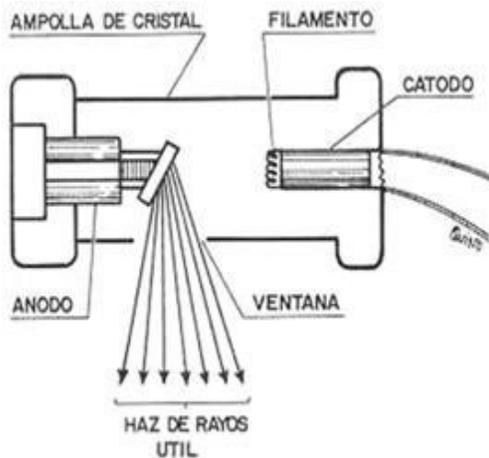
Donde m puede ser cualquier entero. A esta ecuación se le conoce como condición Bragg. Si se conoce la longitud de onda del rayo X se mide el ángulo θ al cual se presenta interferencia constructiva, así se puede obtener la separación d .

Si los rayos X se proyectan sobre un cristal, los rayos X desviados forman intensas *manchas de Laue* sobre una pantalla o película, dichas manchas se deben a la interferencia constructiva de las ondas emitidas por muchos átomos diferentes. Para obtener información sobre la estructura del cristal y la distancia entre sus planos se necesitan haces monocromáticos de rayos X. Cuando se utilizan rayos X monocromáticos, para la mayoría de orientaciones del cristal la condición de Bragg no se cumple para ningún conjunto de planos y no se forman manchas. Para superar esto, el

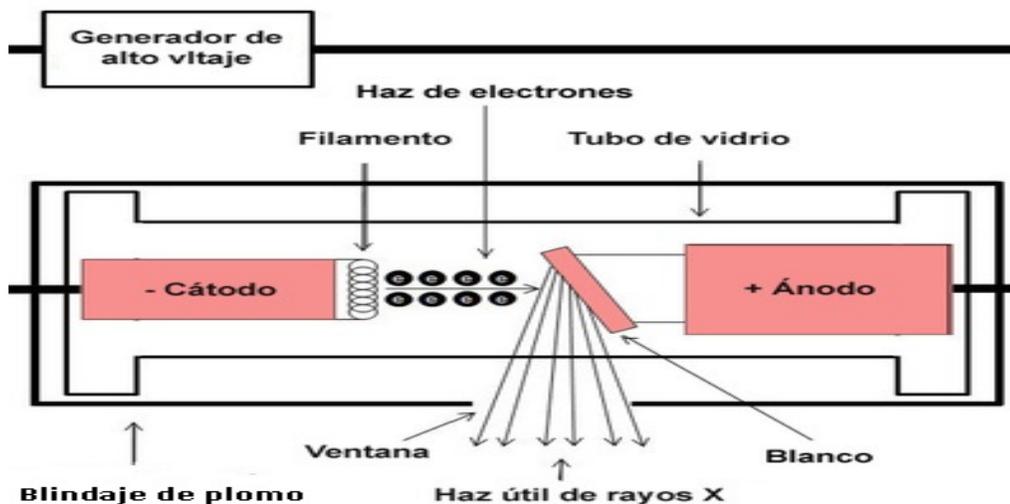
cristal se va girando gradualmente. Se forman manchas en la placa fotográfica cuando algún conjunto de planos llega a satisfacer la condición de Bragg.

Las posiciones e intensidades de estas manchas contienen información considerable detallada sobre el cristal. Las posiciones de las manchas dependen sólo de la estructura geométrica del cristal y la distancia entre sus planos. Las intensidades relativas de las manchas dependen de la composición química del cristal. Ello se debe a que los rayos X son reflejados en realidad por las nubes electrónicas de los átomos, y los átomos pesados, que tienen más electrones reflejan mejor.

La difracción de rayos X ha sido muy útil en la determinación de la estructura de moléculas importantes biológicamente. Las predicciones del patrón de difracción para cada estructura supuesta, se pueden comparar con el patrón obtenido. La difracción de rayos X se ha aplicado con éxito espectacular a moléculas biológicas, que pueden cristalizar, tales como proteínas y ácidos nucleicos, para moléculas grandes como éstas, la “técnica de los átomos pesados” ha sido una importante innovación. Como los átomos muy grandes dispersan a los rayos X en un grado mucho mayor que los átomos ligeros de C, N, O y H de las moléculas biológicas, se les puede utilizar como “indicadores”. Los átomos pesados se adhieren químicamente a lugares específicos de la molécula sin que se altere significativamente su estructura. Se ha determinado la estructura de un gran número de moléculas, con la ayuda de los rayos X.



A la izquierda se muestra un esquema de un tubo de rayos X, a la derecha un equipo de difracción de Rayos X.



MÉTODOS UTILIZADOS EN DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Los métodos experimentales de difracción de rayos X más utilizados son los siguientes:

Método	Radiación	Muestra	Detector	Información suministrada
Laue	Policromática	Monocristal	Película fotográfica	Simetría cristalina
Giratorio oscilante	Monocromática	Monocristal	Película fotográfica	Parámetros cristalinos
Weisseberg	Monocromática	Monocristal	Película fotográfica	Simetría cristalina (grupo espacial) Parámetros cristalinos Intensidades difractadas (estructuras cristalinas) Identificación
Precesión	Monocromática	Monocristal	Película fotográfica	Simetría cristalina (grupo espacial) Parámetros

				cristalinos Intensidades difractadas (estructuras cristalinas) Identificación
Difractómetro de monocristal	Monocromática	Monocristal	Contador electrónico	Simetría cristalina (grupo espacial) Parámetros cristalinos Intensidades difractadas (estructuras cristalinas) Identificación
Debye-Scherrer	Monocromática	Polvo cristalino	Película fotográfica	Parámetros cristalinos Identificación
Difractómetro de polvo	Monocromática	Polvo cristalino	Contador electrónico	Parámetros cristalinos Intensidades difractadas (Análisis cuantitativo de fases cristalinas) Identificación

APLICACIONES DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Los rayos X poseen una gran variedad de utilidades y aplicaciones nombraremos algunas:

Identificación de fases: Una fase cristalina dada, siempre produce un patrón de difracción característico, tanto en estado puro o en una mezcla. Para este tipo de análisis, se utiliza una base de datos que contiene toda la información necesaria, cristalográfica para fases cristalinas de distintos tipos de materiales, ya sean inorgánicos, minerales, orgánicos, etc.

A partir del difractograma de una muestra la búsqueda se realiza mediante ordenador y consiste en identificar los patrones que mejor se ajustan a los picos del difractograma.

Pureza de muestras:En una mezcla de compuestos cada fase cristalina presente va a contribuir al patrón de difracción de rayos x. Esto puede utilizarse para identificar el grado de avance de una reacción y la pureza del producto. Si el producto posee impurezas, se pueden detectar, sin embargo, la impureza debe ser cristalina, además la capacidad para detectar una impureza depende de la capacidad de ésta para dispersar la radiación.

Análisis cuantitativo:Los métodos de análisis cuantitativos basados en la difracción de rayos x pueden clasificarse en dos grandes grupos: métodos que emplean picos seleccionados y métodos que utilizan todo el difractograma.

Aporte de la difracción de Rayos X al estudio de ADN:Los datos de difracción de rayos-X colectados por Rosalind E. Franklin (1920-1958) durante su investigación de la estructura de las formas A (cristal) y B (cristal líquido) del ácido desoxirribonucleico (ADN), resultaron una información clave para la elaboración del modelo molecular del ADN en forma de una doble hélice, propuesto a inicios de 1953 por J. D. Watson y F. H. C. Crick (entonces, ambos en Cambridge). La figura muestra la ahora famosa 'Foto 51' de difracción de rayos-X de la forma B del ADN obtenida por Rosalind. La imagen muestra la foto de la difracción de rayos x obtenida por Rosalind, cuyo aspecto en forma de cruz es la signatura de una molécula con la arquitectura de una hélice. Esta estructura permitía explicar las propiedades vitales en el proceso de la herencia de replicarse a sí misma y de mutar que poseían las moléculas de ADN.



Diseño de fármacos: Desde finales de siglo XX se comenzó a diseñar nuevos fármacos y medicamentos basados en inhibidores y sustratos naturales de diversas proteínas y enzimas involucradas en ciclos celulares y metabólicos. El conocimiento de la estructura de la parte de la proteína (la forma y la distribución de cargas electrostáticas) que liga estos compuestos facilita este proceso, gracias a la mejor comprensión de las interacciones entre la proteína y el ligando de interés; esto permite concentrarse en el diseño de fármacos con las características específicas deseadas.

CONCLUSIÓN

La física nos es de gran ayuda para comprender el mundo microscópico. La utilización de los rayos X encuentran su fundamento en la física.

Los rayos X han sido de gran utilidad desde que fueron descubiertos, su principal función es revelar la estructura de compuestos desconocidos y determinar la composición de compuestos. Es de uso común en una gran variedad de disciplinas científicas, como la química, la biología molecular, la farmacología, la física aplicada, etc. También es importante destacar que las diferencias en el patrón de difracción de diversos materiales, drogas, etc. con aspectos y composiciones químicas similares son de mucha utilidad en la industria y campos sin relación directa con la investigación científica básica o el desarrollo tecnológico, como la ciencia forense, etc..

Lamentablemente, la limitación fundamental de la difracción de rayos X consiste en que sólo puede aplicarse a sustancias capaces de formar cristales. Además, la obtención de cristales no es siempre suficiente para obtener la estructura de interés. La capacidad de la cristalografía para develar estructuras moleculares cada vez más grandes y más complejas es imparable. En medio siglo hemos pasado del descubrimiento de la estructura de los ácidos nucleicos y el mecanismo de la transferencia genética, a resolver las estructuras atómicas de los centros activos de grandes proteínas y complejos macromoleculares, algo que está en la base de los últimos avances médicos y farmacológicos. De ese conocimiento nació una nueva ciencia, la Biología Estructural.

Resulta atrayente comprender como conceptos considerados básicos en esta materia, pueden tener una aplicación tan importante en biología molecular y en otras tantas disciplinas en las que ha sido de gran ayuda la difracción de rayos X para el avance científico. La realización de esta monografía ha sido muy nutritiva para poder mirar a la física con otros ojos, y notar cuán importante es esta materia para la formación profesional, y científica de la carrera elegida.

BIBLIOGRAFÍA:

Giancoli Douglas C. "Física". 3º Edición

<http://www0.unsl.edu.ar/~cornette/Bolilla11.pdf>

<http://www0.unsl.edu.ar/~cornette/seminarios1.html>

Alan H. Cromer "FÍSICA PARA LAS CIENCIAS DE LA VIDA". 2º Edición

J. W. Kane/ M. M. Sternheim "Física" 2º Edición.

Curtis|BarnesSchnek|Massarini "Curtis Biología" 7º Edición.



¿ES LA GRAVEDAD UNA FUERZA?

Laciar, Julian Andrés



2018

PROFESOR RESPONSABLE: DR. HUGO VELASCO

Índice

1. Introducción.....	3
2. Conceptos físicos aplicados.....	4
2.1 Movimiento rectilíneo uniforme.....	4
2.2 Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.....	4
2.3 Leyes de Newton.....	4
2.4 Aceleración Centrípeta.....	4
2.5 Condición de Equilibrio de Cuerpos Rígidos.....	5
2.6 Condición de Localidad.....	5
2.7 Campo Gravitatorio.....	5
2.8 Principio de Equivalencia.....	5
2.9 Principio de Equivalencia Débil.....	6
2.10 Principio de Equivalencia Fuerte.....	6
2.11 Espacio-Tiempo.....	6
3. Planteo y desarrollo de problemas.....	7
3.1 ¿Por qué los cuerpos caen a la vez sin importar su masa?.....	7
3.1.1 Carga Gravitatoria.....	8
3.2 ¿Por qué los planetas no chocan contra el Sol?.....	9
3.2.1 Un poco de historia.....	9
3.2.2 ¿Cómo es la órbita de los planetas?	10
3.3 ¿La gravedad es una fuerza?.....	11
3.3.1 Historia del estudio de la gravedad.....	11
3.3.2 Einstein y El Principio de Equivalencia Fuerte.....	12
3.3.3 Consecuencias del Principio de Equivalencia Fuerte.....	15
4. Conclusiones.....	17

5. Bibliografía.....18

1- Introducción.

El seminario pretende realizar un estudio en profundidad referente a la gravedad, en particular a la fuerza de la gravedad y la ley de atracción gravitacional.

La principal motivación de este estudio nació a raíz de una pregunta que me surgió en la cursada de la materia ¿Por qué si dos planetas se atraen no chocan los unos con los otros?

Al ir incorporando conceptos para responder a esta interrogante fueron surgiendo nuevas preguntas las cuales derivaron en un profundo estudio de la gravedad.

2.0- Conceptos físicos aplicados.

2.1- Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)

Un objeto tiene movimiento rectilíneo uniforme cuando su trayectoria es recta y su velocidad es constante, por lo que su aceleración será igual a cero.

2.2- Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUV)

Un objeto tiene movimiento rectilíneo uniformemente acelerado cuando su trayectoria es recta y su aceleración es constante.

2.3- Leyes de Newton

Primera ley de Newton: Un cuerpo permanecerá en reposo o en MRU a no ser que se aplique una fuerza neta sobre el objeto.

Segunda ley de Newton: Si a un objeto de masa m se le aplica una fuerza \vec{F} se producirá una aceleración \vec{a} en la dirección de la fuerza neta:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Tercera ley de Newton: Si un objeto ejerce una fuerza sobre otro, este ejerce una fuerza igual pero en sentido contrario sobre el primero.

2.4- Aceleración centrípeta

En ausencia de cualquier fuerza neta un objeto se mueve en línea recta a celeridad (velocidad) constante de acuerdo a la primera ley de Newton. Si la trayectoria del objeto es circular, posee entonces una aceleración radial $a_c = \frac{v^2}{r}$ y, por lo tanto, existe una fuerza que

produce esa aceleración. Según la segunda ley de Newton, la fuerza debe ser igual a la masa por la aceleración. Así pues, la fuerza F necesaria para producir una a_c es:

$$F = ma = \frac{mv^2}{r}$$

2.5- Condición de equilibrio de cuerpos rígidos

Primera condición de equilibrio: $\sum_i \vec{F}_i = 0$

Segunda condición de equilibrio: $\sum_i \vec{\tau}_i = 0$

2.6- Condición de localidad

El principio de localidad establece que dos objetos suficientemente alejados uno de otro no pueden influirse mutuamente de manera instantánea, de manera que dado un corto intervalo de tiempo cada objeto solo puede ser influido por su entorno inmediato o entorno local.

2.7- Campo gravitatorio

El campo gravitatorio o campo gravitacional es un campo de fuerzas que representa la gravedad. Si se dispone en cierta región del espacio una masa m .

2.8- Principio de equivalencia

El principio afirma que “Un sistema inmerso en un campo gravitatorio es indistinguible de un sistema no inercial acelerado”

Ejemplo: Si caemos tras una piedra desde un acantilado, la veremos descender con velocidad constante exactamente igual que si no existiera el campo gravitatorio que los hace caer.

2.9- Principio de equivalencia débil

El movimiento de cualquier partícula de prueba en caída libre es independiente de su composición y estructura.

2.10- Principio de equivalencia fuerte

El principio de equivalencia fuerte se formula de la siguiente manera:

El movimiento gravitacional de un cuerpo de prueba depende únicamente de su posición inicial en el espacio-tiempo y no de su constitución, y el resultado de cualquier experimento local, gravitacional o no, en un laboratorio moviéndose en un sistema de referencia inercial es independiente de la velocidad del laboratorio y de su localización en el espacio-tiempo.

2.11- Espacio-tiempo

Espacio de cuatro dimensiones (las tres que corresponden al espacio ordinario y el tiempo) necesario para situar un acontecimiento, según la formulación de la teoría de la relatividad.

3.0- Planteo y desarrollo de los problemas

3.1.- ¿Por qué los cuerpos caen a la vez sin importa su masa?

Para abordar esta pregunta surgió la idea de hacer una analogía entre la fuerza eléctrica y la fuerza de la gravedad. Como sabemos, y mencionando la ley de Coulomb, la fuerza eléctrica entre dos cuerpos cargados es directamente proporcional a la carga e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

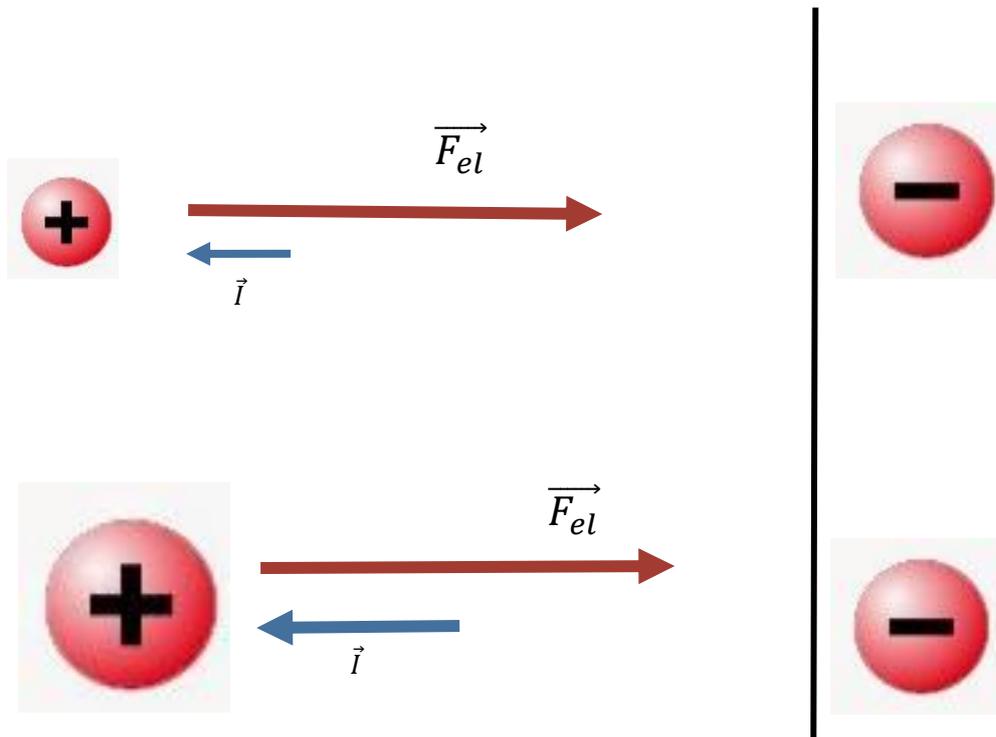
De acuerdo a la ecuación mientras más grande sea el valor de las cargas mayor será la magnitud de la fuerza ¿pero qué ocurre con la gravedad? ¿Por qué aunque los cuerpos tengan masas distintas caen a la vez?

Para responder estas preguntas debemos primero introducir el concepto de inercia que establece:

“La aceleración de un objeto no solo depende de las fuerzas aplicadas y de las fuerzas de rozamiento, sino también del objeto. La cantidad de inercia que posea un objeto depende de la cantidad de materia que haya en él, mientras más materia haya mayor será la inercia.”

Veamos esto con un ejemplo:

Supongamos que dos cuerpos con igual carga pero distinta masa son atraídos por una superficie cargada, ¿cuál de ellos llegara primero a la superficie?



Como se observa hay una competencia entre la resistencia a moverse y cuanto le afecta la fuerza implicada ¿Qué ocurrirá con la fuerza gravitatoria? ¿Tendrá su “carga” gravitatoria al igual que la fuerza eléctrica tiene se carga eléctrica?

3.1.1- Carga gravitatoria:

Galileo en su libro “Diálogos sobre las nuevas ciencias” enunció que *el movimiento de cualquier partícula de prueba en caída libre es independiente de su composición y estructura.*

Esto se puede ver de la siguiente manera, utilizando las ecuaciones de Newton:

$$F = m_{in}a$$

Donde la masa inercial, como se definió previamente, es la resistencia de un cuerpo a ser acelerado. Por otro lado, de la ley de gravitación universal de Newton se cumple que:

$$F = m_{gr} \left(\frac{GM}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r} \right) = m_{gr} \mathbf{g}$$

Para un objeto en caída libre, es decir, sin fuerzas actuando sobre él, se tiene la igualdad de las dos fórmulas:

$$m_{in} \mathbf{a} = m_{gr} \mathbf{g}$$

Por lo que el principio de equivalencia débil especifica la igualdad entre las masas inercial y gravitacional, volviéndolas indistinguibles:

$$\frac{m_{gr}}{m_{in}} = 1$$

Como conclusión podemos decir, que a diferencia de la fuerza eléctrica, los efectos de ser influenciado por la gravedad y resistir moverse se cancelan por lo que todos los cuerpos caen a la vez, o lo que es lo mismo, la masa inercial es siempre igual a la carga gravitatoria.

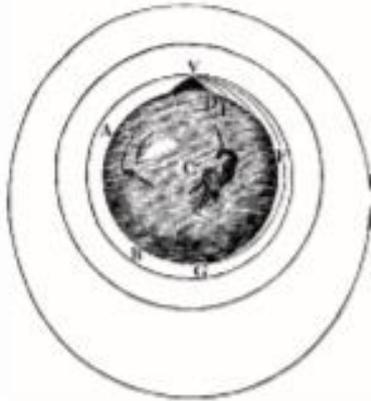
3.2 ¿Por qué los planetas no chocan contra el Sol?

3.2.1- Un poco de historia

Isaac Newton comprendió que el movimiento de los satélites, y dedujo que la Luna no es más que un proyectil que describe círculos en torno a la tierra bajo la atracción de la gravedad. Newton comparó el movimiento de la Luna con una bala de cañón disparada desde la cumbre de una alta montaña. Newton imaginó que la cumbre de la montaña estuviera sobre la atmósfera terrestre, para que la resistencia del aire no influyera en el movimiento de la bala. Si esta se dispara con una velocidad horizontal baja seguiría una trayectoria curva y caería pronto al suelo.

Si se dispara con una mayor rapidez, su trayectoria sería menos curva y caería al suelo más lejos. Si se dispara con la rapidez

suficiente, Newton dedujo que la trayectoria curva se transformaría en un círculo y la bala describiría círculos en torno a la Tierra en forma indefinida. Estaría en órbita.



3.2.2- ¿Cómo son las órbitas de los planetas?

Como vimos anteriormente tanto la Luna como la bala de cañón tienen una velocidad tangencial suficiente para asegurar que su movimiento sea alrededor de la Tierra, y no hacia ella. Si no hay resistencia que reduzca su rapidez, la Luna, o cualquier satélite terrestre cae girando alrededor de la Tierra de manera indefinida. Asimismo, los planetas caen continuamente alrededor del sol, en trayectorias cerradas. ¿Por qué los planetas no chocan contra el Sol? No lo hacen porque tienen velocidades tangenciales ¿Qué sucedería si sus velocidades tangenciales se redujeran a cero? Caeríamos directamente al Sol

3.3- ¿La gravedad es una fuerza?

3.3.1- Historia del estudio de la gravedad

A principios del siglo XVII, la mayoría de los científicos se cercioraron de la justeza del sistema heliocéntrico del universo.

Según este sistema, que fue propuesto por Nicolás Copérnico, la Tierra y los demás planetas están en movimiento alrededor del Sol, que es el centro del sistema planetario.

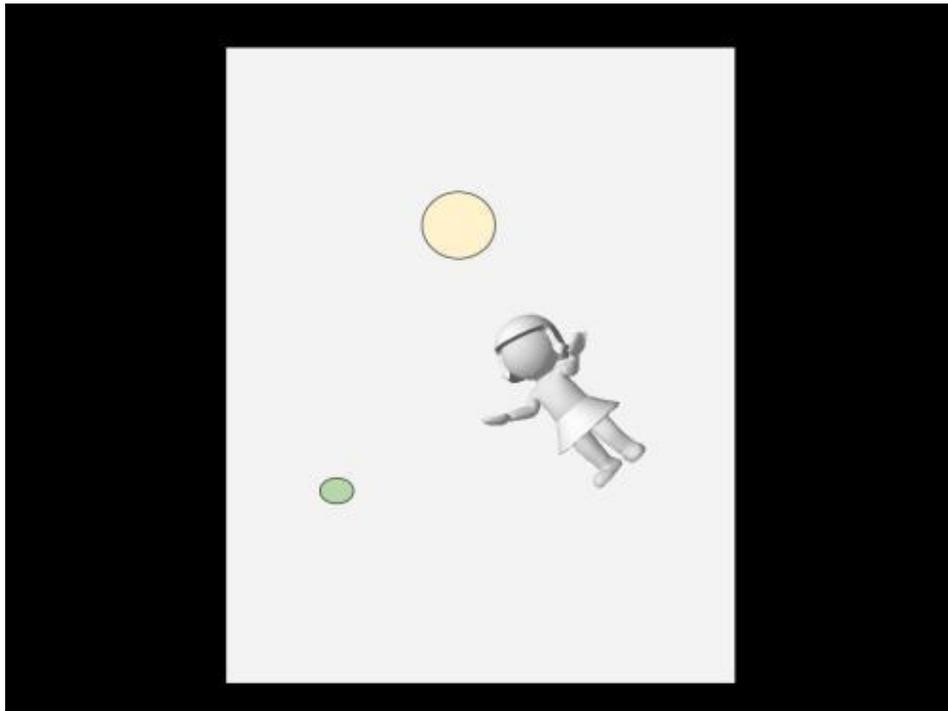
Isaac Newton en base a los descubrimientos de Galileo Galilei, Johannes Kepler y otros científicos que lo antecedieron deduce la Ley de Gravitación Universal, contribuyendo de manera considerable al estudio de la física, explicando de esta forma el movimiento de los planetas alrededor del Sol.

Posteriormente Albert Einstein llegaría a la conclusión de que la gravedad, cuya presencia estaba presente en todo lugar donde existía un cuerpo, no se trataba de una fuerza en sí, sino más bien de geometría, la presencia de un cuerpo en el espacio deformaba el “espacio-tiempo” y era esta deformación lo que atraía a los cuerpos entre sí.

3.3.2- Einstein y el principio de equivalencia fuerte

A través de un ejemplo sencillo se puede demostrar los fundamentos de este principio:

Supongamos que estamos dentro de una caja opaca y sin ventanas en el espacio ¿Cómo podemos saber si estamos quietos o en movimiento?

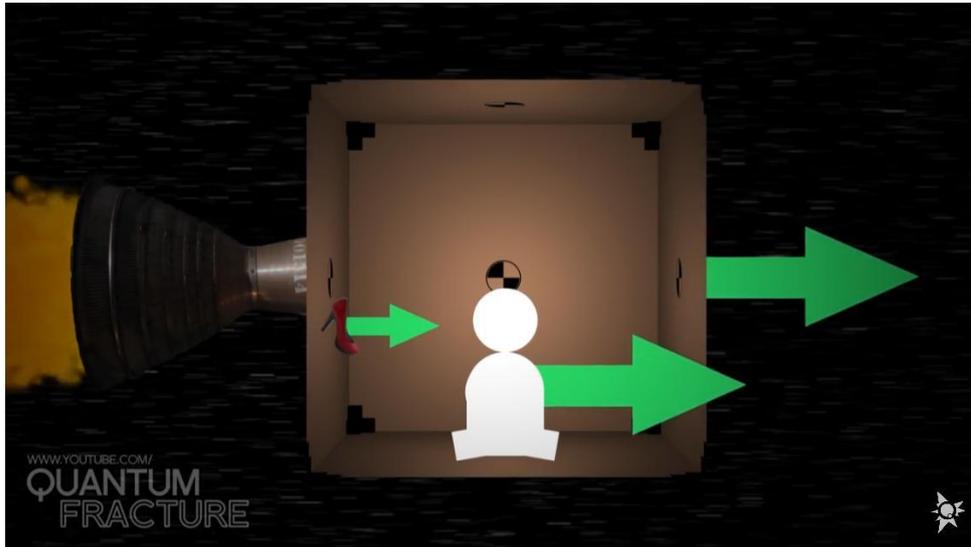


Pongamos un primer caso en que creemos que la caja está girando en torno a algo ¿Cómo podemos saber si estamos rotando?

Simplemente dejamos un objeto a nuestro lado, si realmente la caja esta quieta el objeto se quedara quieto flotando. Sin embargo si es cierto que la caja gira, en este caso al quitar el contacto del objeto con la caja las fuerzas que lo mantenían rotando solidariamente con nosotros han desaparecido, haciendo que el objeto siga una trayectoria en línea recta hacia una de las paredes producto de las fuerzas centrífugas.



Lo mismo ocurriría si estuviéramos dentro de una caja que se acelera en una cierta dirección, si dejamos un objeto en el aire, debido a que la velocidad de la caja sigue aumentando pero la velocidad del objeto ya no lo hace, puesto que ya no está en contacto con la caja, este quedara rezagado y chocara contra una de las paredes de la caja.



¿Qué ocurrirá a velocidad constante? ¿Servirá el método que estamos utilizando en este caso?

La verdad es que no, ya que al dejar el objeto en aire este se seguirá moviendo con la misma velocidad que la caja producto de la inercia. De hecho no existe ningún método para saber si nos estamos moviendo o no.

En conclusión podemos decir que estarce moviendo en línea recta a velocidad constante o estar parado son dos situaciones que no se pueden distinguir.

Esto se ve reflejado en las ecuaciones de Newton:

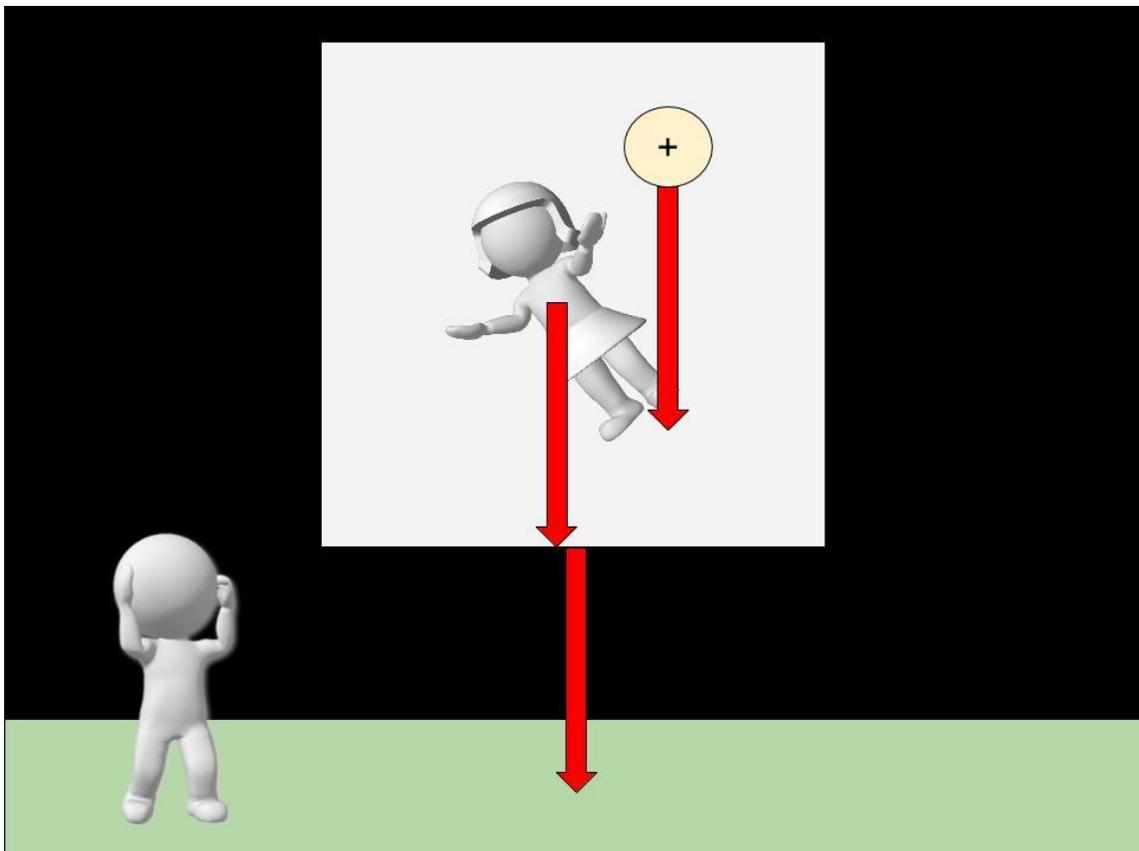
$$\vec{F} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

Tanto a velocidad contante, como si estamos quietos, se cumple que la fuerza resultante es igual a cero.

Esto también podría ser demostrado utilizando los conceptos de condición de equilibrio de cuerpos rígidos definido anteriormente.

Por lo tanto y con base a las leyes de Newton estos dos casos, moverse a velocidad constante o estar quietos, serían las únicas dos situaciones que no se podrían distinguir. Por eso fue inmensa la genialidad de Einstein al darse cuenta de que esta relación no se da solo en estos dos casos sino que hay una tercera situación indistinguible.

¿Qué ocurre con una caja que “cae” por acción de la gravedad?



Pensemos ahora que estamos en una caja que es acelerada por la gravedad, en un principio podríamos pensar que ocurriría lo mismo que en la caja que acelera en una cierta dirección, y que con solo dejar un objeto en el aire podría saber si nos estamos moviendo o no, pero lo cierto es que esto no ocurre debido a dos factores:

- 1- En la caja acelerada en una cierta dirección, al dejar el objeto en el aire y rehuir el contacto con ella, el mismo estaba eludiendo la fuerza que ejecutaba la aceleración. Pero en este caso no se puede evadir a la gravedad, por el hecho de tener masa el objeto va a caer.
- 2- Como ya habíamos definido previamente, todos los objetos caen a la vez. En conclusión, es ese extraño fenómeno que tiene la gravedad, que todos los cuerpos sin importar su masa caen a la vez lo que hace que esta situación sea indistinguible de estar en reposo.

3.3.3- Consecuencias del principio de equivalencia fuerte

En el apartado **3.2** se llegó a la conclusión de que orbitar es caer, y como hemos visto en el apartado anterior un cuerpo trazando elipses en torno al Sol también es una situación indistinguible de estar quieto ¿Cómo es posible esto?

A Einstein le llevo mucho tiempo contestar esta pregunta, no es que el objeto se este moviendo con una trayectoria curva, en cierto sentido el objeto viaja en línea recta y a velocidad constante solo que se mueve por un camino en el espacio y en el tiempo que esta curvado.

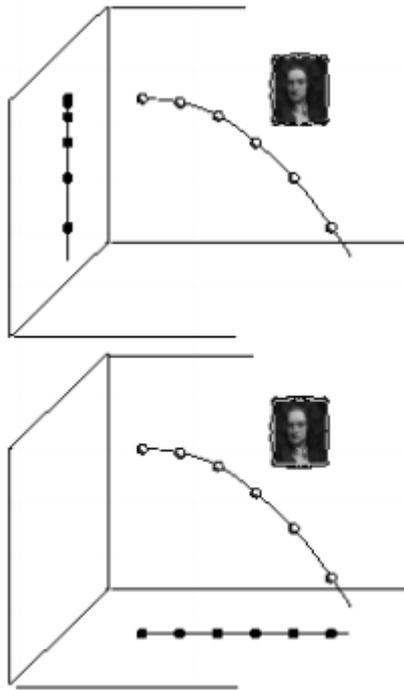
4.0- Conclusiones

Aunque localmente nuestro universo parece un espacio plano (euclideo), en realidad vivimos en un espacio-tiempo curvo. Cuando caemos no podemos diferenciarlo de estar desplazándonos en línea recta y a velocidad constante, porque realmente estamos yendo en línea recta y a velocidad constante solo que sobre una geometría muy distinta a la que estamos acostumbrados.

Cuando orbitamos da la impresión que nos estamos moviendo en una trayectoria curva, cuando en realidad nos estamos moviendo rectos, solo que en un espacio-tiempo que están curvados.

Es muy importante recalcar que no nos estamos moviendo rectos por el espacio, nos estamos moviendo rectos por una combinación de espacio y tiempo, y el tiempo también puede estar curvado.

Tenido en cuenta que una trayectoria curva es la combinación del movimiento en dos dimensiones distintas



Podemos hacer una analogía entre los sistemas clásicos y la curvatura del espacio-tiempo, ya que la idea de moverse por dicha curvatura no es más que la “mezcla” de moverse por el espacio y el tiempo.

Por ejemplo estar quieto no es otra cosa que moverse solamente en la componente del tiempo, pero si el tiempo esta curvado y ocurre esta “mezcla” de espacio y tiempo estar quieto en un espacio-tiempo curvos puede significar moverse, eso es precisamente caer, no hay ninguna fuerza, la gravedad es una consecuencia de la curvatura tanto en el espacio como en el tiempo.

¿Qué ocasiona la curvatura en el espacio-tiempo?
Como lo definió Newton son los objetos que tienen masa lo que causan la gravedad, ahora bien si la gravedad es una

manifestación de la curvatura del espacio-tiempo entonces la masa tiene que ser una de las causantes.

5- Bibliografía

Kane y M. Sternheim. Física. Ed. Reverte. 1986

Paul G. Hewwit. Fisca Conceptual. Ed. Pearson. Décima Edición 2007

Giovanni Cardona Rodríguez, Jaime Duván Reyes, Eric Ortiz Ibáñez (2014): “El principio de equivalencia: Una propuesta didáctica a partir del juguete de Einstein” Facultad de Ciencia y Educación, Universidad Distal Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Pedagogía Nacional. Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5199778.pdf>

John J. O’Connor, Edmund F. Robertson (1996): Non-Euclidean Geometry. Disponible en: http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/~history/HistTopics/Non-Euclidean_geometry.html

S. Schlamminger, K. Y. Choi, T. A. Wagner, J. H. Gundlach, and E.G Adelberger (2018): “Test of the Equivalence Principle Using a Rotation Torsion Balance”. Center for Experimental Nuclear and Astrophysics, University of Washington, Seattle, WA. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/0712.0607.pdf>

Hugo Velasco, Valeria Cornette. Física. Teorías. Universidad Nacional de San Luis. Disponible en: <http://www0.unsl.edu.ar/~cornette/teorias.html>

José Luis Crespo “QuantumFracture”:
<https://www.youtube.com/user/QuantumFracture>

Universidad Nacional de San Luis
Licenciatura en Biología Molecular
Materia: Física

Trabajo Final

Osmosis y la vida como la conocemos

Alumna: Agustina Sofia Cianci Romero
Profesor: Hugo Velazco
Año: 2018

Índice

Introducción	3
¿Qué es la osmosis?	3
¿Por qué las células son semipermeables a ciertas sustancias?	4
Explicación física del fenómeno	5
Mecanismo de regulación	8
Regulación Hídrica	8
Regulación de Solutos	10
Regulación Iónica	10
Ejemplos de ósmosis en la naturaleza	11
Vegetales	11
Estomas	12
Nastias	13
Animales	13
Microorganismos	14
Bacterias	14
Alimentos	14
Pilobolus crystallinus	14
Conclusión	15
Bibliografía y Cibergrafía	15

La presente monografía fue realizada a modo de trabajo final para la materia de Física de la carrera de Licenciatura en Biología Molecular. La temática de este escrito será *la osmosis* y su relación con algunas funciones biológicas indispensables para la vida. La idea de este del escrito nace a partir del interés en comprender cómo funcionan las cosas así como la interrelación de conceptos físicos y biológicos que adquirí a lo largo del secundario y primer año de la carrera.

La idea de esta monografía es la descripción del mecanismo físico de ósmosis y su relación a sistemas vivos, con el detalle de las complicaciones que este fenómeno presenta en la regulación hídrica a nivel celular y organismo, así como la relación e implicancia que este tiene con otros fenómenos biológicos.

Generalidades:

- Las células son la unidad básica de vida de cualquier organismo (todo organismo vivo se encuentra conformado por una o más células).
- Para poder sobrevivir, las células necesitan de un intercambio continuo de materia con el medio que los rodea (por ende, se los considera sistemas abiertos).
- Estos mecanismos de intercambio pueden realizarse mediante difusión pasiva (a favor de un gradiente de concentración, espontáneamente) o transporte activo (en contra de un gradiente de concentración, no espontáneamente).
- Uno de los mecanismos más simples por los cuales realiza estos intercambios es a través de la **difusión simple** de sustancias y la **ósmosis**.

¿Qué es la osmosis?

Es la *difusión de sustancias* a través de una *membrana semipermeable* a causa de un *gradiente de concentración* a ambos lados de ésta.

Para poder comprender esta definición, hay que poner en claro ciertos conceptos:

- Difusión de sustancias: el tipo de sustancias que intervienen son moléculas de tamaño pequeño, de tipo líquido o gaseoso, con carga (o polares, como el agua) o no polares. En este caso, hablaremos de los mecanismos de difusión del agua a través de la membrana.

- Gradiente de concentración: La palabra gradiente implica diferencia, la diferencia que se describe en este caso es en la cantidad de sólidos solubles (como iones, ácidos orgánicos, sustancias polares o gases) se encuentran presentes en un volumen determinado de líquido.

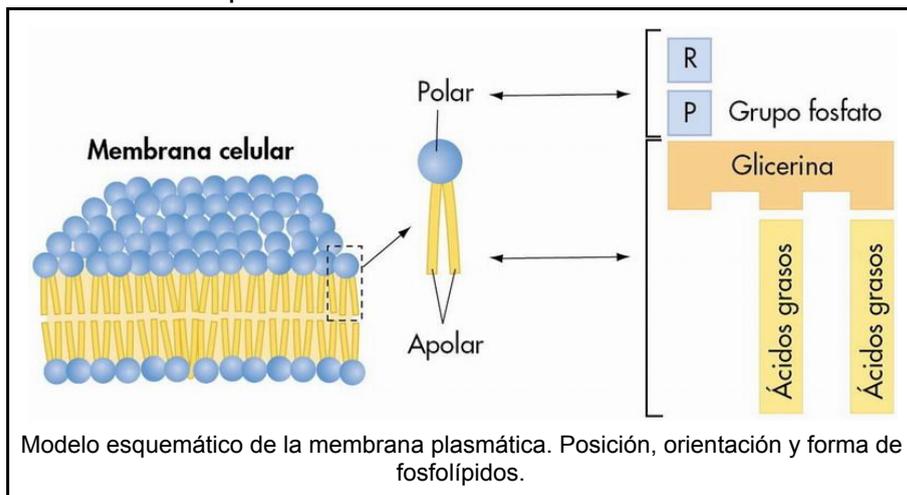
- Membrana semipermeable: Este tipo de membranas tienen la facultad de ser permeables a ciertas sustancias e impermeable a otras, es decir, dejan pasar únicamente un tipo específico de sustancias mientras que otras no.

¿Por qué las células son semipermeables a ciertas sustancias?

La razón por la cual ocurre este fenómeno en las células es a causa de la composición química de la membrana plasmática que rodea a la célula (capa límite que actúa como barrera, diferenciando el medio extracelular del intracelular).

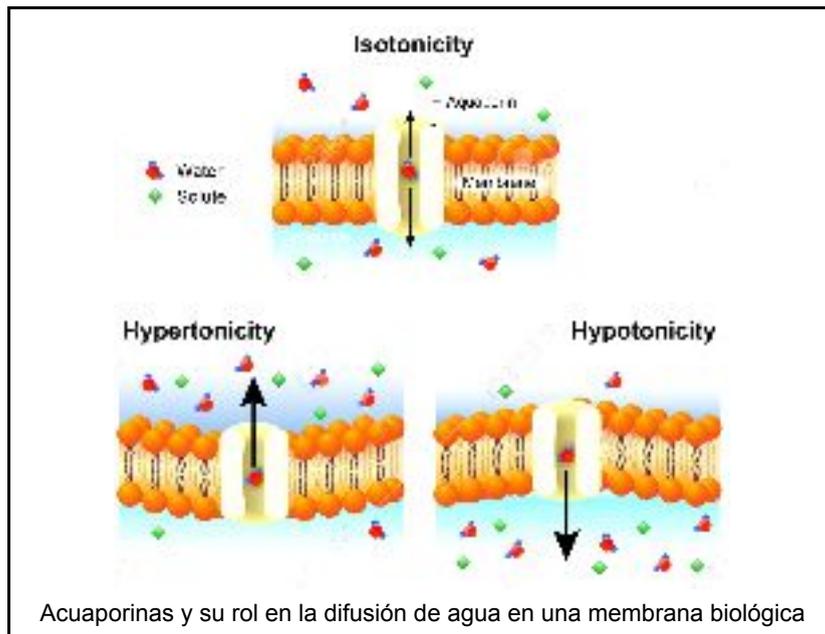
La membrana plasmática se encuentra conformada por una bicapa de *fosfolípidos*. Como el propio nombre lo indica, esto significa que se encuentra conformado por una

parte que contiene fósforo (más concretamente, un grupo fosfato) y otra que contiene lípidos. La parte que contiene fósforo forma lo que se llama la “cabeza” polar del fosfolípido, la cual tiene la característica de ser hidrofílica, es decir, tienen una cierta afinidad por el agua, por lo que van a tender a estar “orientados” hacia ésta, mientras que la parte lipídica conforma lo que sería la “cola” del fosfolípido, la cual va a tener tendencia a alejarse sustancias polares como el agua debido a su naturaleza hidrofóbica. Esto hace que los fosfolípidos tomen configuraciones específicas, con todas las cabezas orientadas para un mismo lado, el agua (polar) y las colas lo más alejadas posible de estas, formándose entonces una bicapa, en la cual en las dos caras exteriores están los grupos fosfatos y en el interior, nunca entrando en contacto con el agua, las colas lipídicas. Esto le confiere a la membrana plasmática una dualidad muy particular; la misma es tanto “soluble” en sustancias polares por las cabezas, como impermeable a sustancias polares a causa colas hidrofóbicas.



Ahora bien, si las membranas plasmáticas son impermeables a sustancias polares y/o con carga, ¿cómo es posible que entren y salgan los iones o moléculas polares de la célula? La respuesta se encuentra en un grupo de proteínas integradas a la membrana plasmática, denominadas *Proteínas Transmembranales*, las cuales, como su nombre lo indica, atraviesa la membrana plasmática de un lado al otro y hacen de suerte de “cañerías” o “tubos” de altamente específicos a sustancias determinadas (es decir, existen canales específicos para cada uno de los iones como el Na^+ , Ca^{2+} y K^+ o sustancias polares como el agua). Estos canales que permiten el paso de sustancias polares o con carga pueden hacerlo a favor de un gradiente de concentración (y por ende, sin gasto de energía) o en contra (proceso no espontáneo y con gasto de energía).

Los canales por los que difunde el agua se denominan convenientemente “*Acuaporinas*”. En este caso, estas proteínas permiten la difusión del agua de un lado al otro de la membrana a favor de un gradiente de concentración, resultando en un proceso espontáneo y por ende, sin requerimiento de energía.



Explicación física del fenómeno

La ósmosis de agua es un proceso en el cual se encuentra implicado el pasaje del agua de un lado a otro de una membrana semipermeable a causa de una diferencia de concentraciones. Esto ocurre porque en la naturaleza los sistemas siempre tratan de encontrarse en equilibrio (homeostasis), el cual es esencial para desempeñar sus funciones metabólicas de la forma más eficiente posible.

En este caso, el equilibrio se da en las concentraciones a ambos lados de la membrana; en las soluciones intra y extracelular, el agua se moverá desde la solución que presente una menor concentración de solutos (solución hiposmótica) a la que tenga la mayor concentración (solución hiperosmótica). La presión hidrostática necesaria para impedir la ósmosis se define como "presión osmótica"

La osmolaridad guarda relación con el número de partículas y es independiente de su naturaleza química. Así un mol de glucosa que tiene un peso molecular (pm) de 180, al no disociarse, tiene el mismo valor de osmolaridad que un mol de albúmina (proteína presente en plasma sanguíneo), que tampoco se disocia y, sin embargo, tiene un Pm = 67000. Por el contrario, un electrolito como el ClNa, que en solución se disocia en dos iones activos osmóticamente, presenta una concentración osmolar doble a la molar, ya que una parte corresponde al ión Na⁺ y otra al ión Cl⁻.

La osmolaridad total de una solución es entonces resultado de la suma de la osmolaridad de cada uno de sus solutos constituyentes. Los líquidos corporales humanos tienen una osmolaridad de 0,29 osmoles/litro o 290 mO/l. Los iones principales (Na, K, Cl, etc.) son responsables del 96%, mientras que la glucosa, aminoácidos y otros solutos no disociables aportan tan sólo un 3%; de estos solutos, las proteínas tan sólo constituyen el 0,5% de la osmolaridad total del plasma y valores aún menores en los líquidos extracelulares, prácticamente carentes de proteínas. A pesar de su pequeña proporción, la presión osmótica de las proteínas plasmáticas, denominada presión coloidosmótica o presión oncótica es muy importante.

Si se tiene en cuenta la diferencia de altura entre ambas ramas del sistema, se podría considerar a la presión cómo:

$$\Pi = \rho gh$$

Dónde: ρ es la densidad del fluido, g es la fuerza gravitatoria y h es la altura de la columna de líquido.

Mediante estas fórmulas, podemos encontrar una relación con la altura del volumen de una columna de líquido con su densidad, temperatura y concentración, por ende, si reorganizamos la ecuación, podremos obtener:

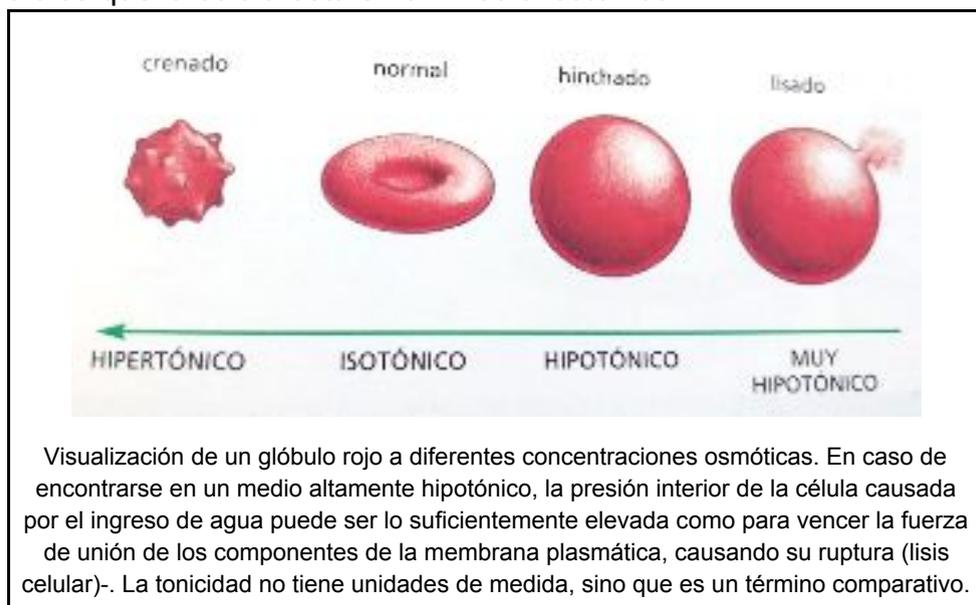
a. $\rho gh = cRT$

b. $h = \frac{cRT}{\rho g}$

Si bien estas últimas fórmulas pueden resultar útiles para el análisis del comportamiento de la ósmosis para sistemas inertes/no vivos, a nivel biológico el tema se complejiza un poco.

Se debe tener en cuenta que (a nivel celular) La presión osmótica puede o no ser la presión real del fluido intracelular. La presión real en el interior de una célula depende tanto de la osmolaridad del fluido que rodea a la célula como de las células que la rodean (en el caso de células animales) o la rigidez de la pared celular (en el caso de células vegetales, bacterias y hongos), por lo tanto, la presión osmótica es solo una medida de la tendencia del agua a difundirse hacia adentro o afuera de una célula.

Cuando una célula se encuentra en un medio donde la concentración extracelular es mayor que la intracelular, se dice que está en un medio *hipertónico*, cuando se la coloca en un medio de menor concentración, se dice que está en un medio *hipotónico* y, finalmente, cuando la concentración de sólidos solubles es igual tanto en el interior como en el exterior de la célula, el agua se encuentra en un flujo dinámico de ingreso y salida y se dice que la célula está en un medio *isotónico*.



- Mecanismo de regulación

Como ya dijimos, en sistemas biológicos el proceso de ósmosis es un poco más complejo; si bien el fenómeno físico en sí continúa siendo el mismo, lo que se modifica es el todo el “contexto” regulatorio que ocurre a nivel celular. Por ende, estos deben tenerse en cuenta para explicar adecuadamente el fenómeno.

- Regulación Hídrica

Uno de los métodos que tienen las células para regular el nivel de entrada o salida de agua es mediante la regulación de la apertura o cierre de los canales (acuaporinas) por donde difunde el agua. De forma análoga a esto, algunos tipos celulares específicos también pueden regular el flujo del agua limitando el número de canales presentes en la membrana celular.

Esto, de forma directa afecta al flujo del agua que ingresa o sale de la célula. El flujo (representado como J) es el volumen de líquido que entra y sale de la célula por unidad de tiempo. Suponiendo que los poros por donde difunde el agua son completamente cilíndricos, entonces, sería posible definir la ósmosis por medio de la ley de Poiseuille como:

$$J = \frac{N\pi a^4}{8\mu l} \Delta p$$

Donde a es el radio del poro, l la longitud del poro (el grosor de la membrana celular) y N es el número de poros presentes por unidad de área en la membrana plasmática, μ es la viscosidad del fluido y Δp la diferencia de presión a ambos lados de la membrana.

Análisis de fórmula: $J = \frac{N\pi a^4}{8\mu l} \Delta p$

Mediante esta expresión, puede concluirse que el caudal que pasa a través de la membrana depende directamente a la presión ejercida de un lado a otro de la membrana, del número de poros y del área de la sección transversal del poro al cuadrado, por lo que si cualquiera de estos valores aumentan, habrá un mayor flujo de agua (para el caso del número de poros y presión, la relación es lineal, mientras que respecto al área, la relación es cuadrática, de forma tal que, si se duplica el radio, se cuadruplica el flujo). En cambio, la longitud del poro y la viscosidad del fluido dependen de una forma inversamente proporcional y lineal; si aumenta cualquiera de estos valores, el flujo de agua disminuirá.

Esta expresión también puede expresarse de forma más simple como: $J = L_p \Delta p$, donde L_p se conoce como *permeabilidad* o *coeficiente de filtración* (es decir, cuánto líquido fluye de un lado al otro de la membrana en base a su resistencia, siendo la resistencia hídrica definida por la ecuación como $R_h = \frac{8\mu l}{\pi a^4}$. L_p es la inversa a la resistencia hídrica).

Por otro lado, la resistencia hidrodinámica de la membrana (R total) se relaciona con la resistencia hidrodinámica de cada poro que compone la membrana. Esta resistencia se puede interpretar como si esta existiese en paralelo, de modo que:

$$\frac{1}{R_{ht}} = \frac{N}{R_{hp}}$$

De forma análoga, el caudal total es el resultado de la sumatoria del caudal de cada poro: $Q_t = NQ_p$. Esto indica que, en caso de poder determinar la cantidad de caudal total del fluido por unidad de área de la membrana, y si además, se conoce el caudal que circula por cada poro, la posibilidad de determinar la cantidad de poros de la membrana.

Además, se debe tener en cuenta que el flujo del fluido es proporcional a las concentraciones a ambos lados de la membrana (ya que no va a ser igual la velocidad de difusión entre sistemas comparados; si Δc en uno de los sistemas es mayor que en otro, en el primer caso, las presiones de difusión serán mayores -proporcionalmente más agua tenderá a pasar del lado más diluido al más disuelto- que en el segundo caso -menos agua tenderá a pasar de un lado a otro de la membrana-), por lo que esta diferencia puede expresarse como:

$$J' = -k\Delta c$$

Donde Δc es la diferencia de concentraciones y k una constante de proporcionalidad que involucra a la presión.

Si la difusión es el resultado de distintas concentraciones y presiones, entonces, el flujo total resulta de la suma de ambos valores:

$$J_t = L_p\Delta p - k\Delta c$$

En una membrana semipermeable perfecta, definida como $k = L_pRT$, se consigue mediante la relación con la ley de los gases ideales expresada más arriba, se obteniéndose:

$$J_t = L_p\Delta p - L_pRT\Delta c$$

$$J_t = L_p(\Delta p - RT\Delta c)$$

Como se vió más arriba, la expresión $RT\Delta c$ corresponde a la presión osmótica.

Análisis de fórmula: $J_t = L_p(\Delta p - RT\Delta c)$

Esta es la fórmula que define de forma global el flujo del agua de un lado a otro de una membrana celular. La misma involucra, por un lado, a la Ley de Poiseuille para explicar la parte del flujo a partir de la permeabilidad de la célula al agua, teniendo en cuenta el número, radio, longitud de los poros celulares y las diferencias de presión a ambos lados de la membrana, y por el otro, involucra la difusión del agua en cuanto a presión osmótica y su relación, nuevamente, con la permeabilidad.

Podemos concluir que, para una misma permeabilidad, el flujo puede incrementarse si:

- Se aumenta la diferencia de presión a ambos lados de la membrana.
- Aumenta la diferencia de concentración a ambos lados de la membrana (se encuentra en un medio muy hiper o hipotónico).
- Se aumenta la temperatura en el organismo.

- Regulación de Solutos

Así como el agua, algunos solutos (o partículas) son lo suficientemente pequeños como para difundir de un sitio de mayor concentración a uno de menor concentración de forma pasiva, por lo que el flujo de partículas es inverso al flujo del agua. Existe una ley, llamada ley de Fick, la cual establece que el flujo de solutos es proporcional al gradiente de concentraciones. Expresado en una dimensión, este es:

$$J = -D \frac{dc}{dx}$$

donde $c(x)$ es la concentración en la dirección x y D es una constante de proporcionalidad de difusión proporcional a la temperatura:

$$D = ukT$$

que tiene a u como parámetro de movilidad de las partículas. La Ley de Fick se expresa entonces como:

$$J = -ukT \frac{dc}{dx}$$

Análisis de fórmula: $J = -ukT \frac{dc}{dx}$

De acuerdo a la Ley de Fick, el flujo de partículas es directamente proporcional a la concentración, mientras que la constante de proporcionalidad depende de tanto la sustancia en la que la partícula se difunde (u) como de su temperatura.

- Regulación Iónica

Como ya se mencionó, las células contienen una diversa concentración de solutos en su interior, incluyendo numerosas moléculas grandes, las cuales no pueden atravesar la membrana celular (como ADN, proteínas, sustancias orgánicas producto del metabolismo celular, etc). Pero el problema se encuentra en que, a pesar de que no aportan significativamente a la osmolaridad intracelular, estas macromoléculas poseen una elevada cantidad de cargas negativas. Debido a esto, estas moléculas son llamadas como *aniones fijos*.

Estos fuertes aniones inmóviles tienen la tendencia de atraer eléctricamente a lo que se llaman "contra iones", iones de carga contraria que se encuentran en el medio extracelular. Estos iones tienen la tendencia de ingresar al interior celular por difusión pasiva para mantener el balance de cargas interno eléctricamente neutro. Este fenómeno se conoce con el nombre de *equilibrio Gibbs-Donnan*, que produce un pequeño exceso de iones en el interior celular denominado *exceso Donnan*. Por lo tanto, en todas las células puede observarse que la osmolaridad interna es ligeramente superior a la exterior. Si las células no hicieran nada para contrarrestar este flujo de cargas, el agua ingresaría de forma continua a la célula, pudiendo ocasionar su ruptura/lisis.

Las células animales logran contrarrestar este efecto gracias a la producción de un gradiente osmótico entre el interior y exterior celular, de manera que su citoplasma contiene una concentración total de iones inorgánicos menor que la del fluido extracelular. Esto es posible gracias a la ayuda de diversos tipos de bombas de iones, como la bomba de Na/K (proteína también involucrada en la transmisión del impulso

nervioso), que mantienen el balance osmótico bombardeando sodio al exterior cuando éste se filtra a favor de su gradiente electroquímico, de manera que su citoplasma contiene una concentración total de iones inorgánicos menor que la del fluido extracelular.

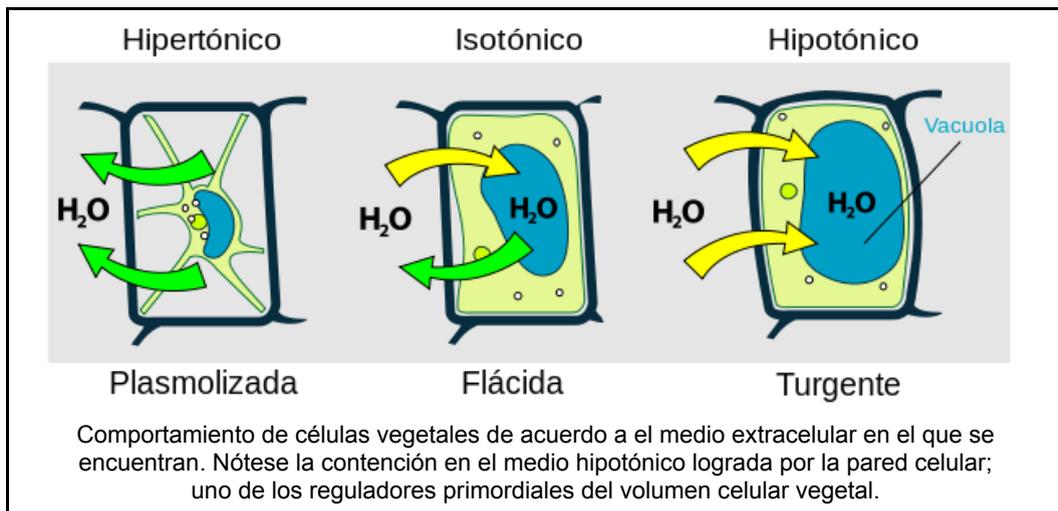
Sin embargo, en la mayoría de las células animales, la bomba de Na/K, a pesar de ser importante e influir en la osmosis celular, esto verdaderamente ocupa un papel menor en la regulación total de la ósmosis, ya que la mayor parte del citoplasma se encuentra en un estado del tipo gel, resistente a cambios de volumen en respuesta a pequeños cambios en la osmolaridad.

Las células no animales hacen frente a sus problemas osmóticos de diversas maneras; las células vegetales y algunos tipos bacterianas están cubiertas por una pared celular, la cual las protege del riesgo a reventar a causa de encontrarse en un medio muy hipertónico (funcionan como una barrera límite). Las bacterias también han desarrollado estrategias que le permiten perder iones e incluso macromoléculas de forma rápida cuando se ven sometidas a un shock osmótico.

Ejemplos de ósmosis en la naturaleza

Los procesos osmóticos influyen en una amplia cantidad de procesos tanto funcionales como interesantes. Aquí algunos ejemplos.

- Vegetales



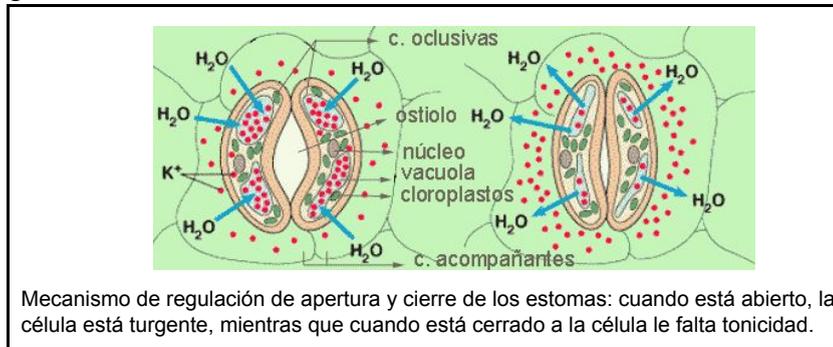
En las plantas, el balance hídrico-iónico es de primordial importancia para lo que se denomina la *turgencia celular*. Esto es, el exceso de iones en el interior celular empleados para “hinchar de más” a las células vegetales, al punto en el que la presión de volumen interno de las células “choquen” con la pared celular vegetal, manteniendo así la firmeza del tejido vegetal. Uno puede hacerse una mejor idea de este efecto comparando qué pasa cuando una célula no está turgente; cuando las células vegetales no están turgentes, se ve a la planta marchita.



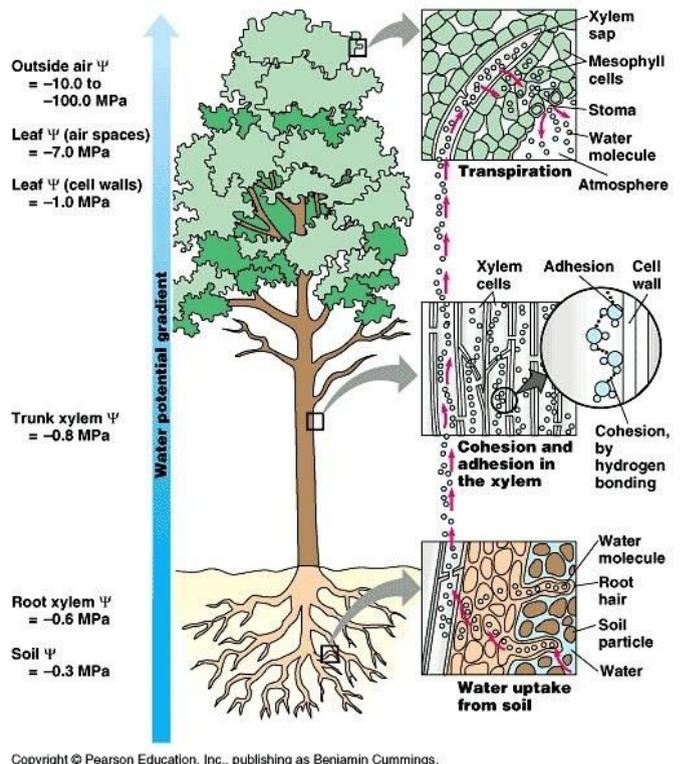
Planta marchita por falta de turgencia

Estomas

Si bien este fenómeno se dá en todas las células, existen un tipo de células particulares denominados estomas (ubicados en las hojas). Estas células son del tipo oclusivas (es decir, tienen la particularidad de que pueden actuar como una compuerta al abrirse y cerrarse a voluntad), las cuales “juegan” con el potencial osmótico para regular su grado de apertura. Este cambio de potencial osmótico lo logran por medio de la movilización de cationes de potasio de adentro hacia afuera y viceversa, resultando en un cambio de turgencia.



Estas células son de vital importancia para las plantas puesto que regulan la subida del agua desde las raíces hasta las hojas por medio de un mecanismo llamado *coheso-tenso-transpiratorio*, el cual se basa en la fuerza de cohesión de las moléculas de agua entre sí y su facultad de comportarse como una especie de “cable tenso” causado por los puentes de hidrógeno del agua, dentro de los capilares del xilema de una planta al momento de ascender por él. El mecanismo de subida se lleva a cabo a través de un fenómeno llamado **presión negativa**. Esta presión negativa se genera a medida que el agua en los estomas de las hojas se va evaporando, generando vacío y dándole lugar a otra molécula de agua en estado líquido a ocupar su lugar en el estoma. La regulación de la apertura de los estomas está vinculado a factores tanto externos como internos; como por ejemplo, la disponibilidad de agua en la tierra, la temperatura y humedad ambiental, el viento, procesos metabólicos, entre otros.



Representación de cómo sube el agua de las raíces a las copas de los árboles

Nastias

Además de las estomas, que son comunes a todas las plantas, existen un pequeño grupo de plantas que pueden generar movimientos en respuesta a estímulos. Este tipo de movimientos realizados por plantas se denominan *movimientos násticos*. Estos movimientos son del tipo activo, reversible y responden a un estímulo, pero no son orientados por él, lo que significa que la planta puede recibir el estímulo desde cualquier lado pero no influir en la dirección en que ésta va a reaccionar. Algunos ejemplos pueden ser el movimiento de algunas plantas carnívoras (movimiento de hojas modificadas) o la Mimosa púdica (que realiza un movimiento de hojas ante el contacto) o el mismo cierre o abertura de algunos tipos de flores al anochecer o amanecer (dama de noche, diente de león, etc). Todos estos movimientos se encuentran regulados por medio de procesos osmóticos y bombas que mueven iones en contra de un gradiente de concentración de forma activa.



- Animales

En animales (y en seres humanos), la ósmosis se encuentra relacionada firmemente con la hidratación y deshidratación celular y por lo tanto de un individuo. Así mismo, se encuentra relacionada a diversas enfermedades.

En ausencia de insuficiencia renal o de hiperglucemia, la osmolaridad del líquido extracelular está relacionada con la concentración plasmática de sodio, sus iones acompañantes y proteínas. En definitiva, la difusión de agua en las células depende tanto de la concentración del soluto (a igual osmolaridad), pero también del tipo de soluto y de la capacidad de este para atravesar la membrana celular (a diferencia de osmolaridad).

Situaciones de hipo o hiperosmolaridad pueden tener repercusiones neurológicas graves e incluso la muerte. Para prevenir esto, la osmolaridad plasmática, se mantiene habitualmente dentro de un estrecho margen debido a adecuadas variaciones de la entrada y salida de agua del organismo. Este sistema es gobernado por osmorreceptores hipotalámicos, afectando a la entrada y salida de agua mediante el mecanismo de la sed (entrada de agua) y la regulación en la formación de la orina (concentración o dilución de orina, concluyendo en menor o mayor pérdida de agua).

De acuerdo a estos y otros procesos regulatorios más complejos, pueden identificarse tres tipos diferentes de deshidratación; la isotónica (donde se pierden iones y agua por igual), la hipertónica (pérdida de agua sobre cantidad de iones) y la hipotónica (mayor

pérdida de sales que de agua). Cada uno de estos se da por diferentes procesos, como la pérdida de sales a nivel intestinal, sobre hidratación, etc.

En caso de que existan algunas fallas a nivel orgánico, estos desequilibrios pueden llevar a diferentes enfermedades, como por ejemplo, el mal funcionamiento de los riñones puede llevar al requerimiento de diálisis (método de filtración sanguínea por medio de un sistema complejo de ósmosis), el aumento de la temperatura por fiebre puede contribuir a la deshidratación de diversos tejidos (corriendo riesgo de deshidratación severa en caso de no tratarse), un fallo en el control osmótico o de aumento de volumen circulatorio puede manifestarse como hipertensión arterial, entre otros.

- Microorganismos

Bacterias

Existen algunos tipos de bacterias con alta tolerancia a los medios altamente hiperosmóticos e hiperosmóticos, ya que tienen diversas adaptaciones como la regulación de ingreso de iones mediante bombas, la presencia de paredes celulares o la formación de estadios de resistencias celular hasta que se dan momentos más viables donde “eclosionan” de su estadio de latencia.

Alimentos

En la antigüedad, antes del descubrimiento de preservación de alimentos por medio de refrigeración, muchos procesos de conservación de alimentos constaban en la “salazón” o concentración de azúcares en alimentos (dulces de frutas, jaleas, etc) como parte de control microbiológico. Hoy en día, a pesar de que se ha descubierto que factores como el pH, temperatura y tanto medios anaeróbicos como estériles son necesarios para una buena conservación de alimentos, la concentración de sales y azúcares continúan utilizándose en la conservación de alimentos en sinergia a los anteriormente nombrados.

Pilobolus crystallinus

Dentro de los hongos, existe un caso particular, *Pilobolus crystallinus*, de no más de 4 cm de alto, el cual emplea la osmosis como mecanismo de difusión de su esporangio.



Hongo *Pilobolus crystallinus*. La zona negra superior del hongo es el esporangio, donde se encuentran las esporas (unidad reproductiva de los

hongos). La “bolsa” transparente que se encuentra debajo es la vesícula que se llena de líquido por medio de procesos osmóticos.

Lo que hace este hongo es acumular fluido en un compartimiento especial hasta alcanzar presiones muy elevadas para luego “disparar” la espora lo más lejos posible del individuo madre. El esporangio es capaz de movilizarse más rápido que una bala, volviendo así a este hongo el organismo vivo más rápido del planeta. Pruebas balísticas han demostrado que velocidades que pueden alcanzar estos microorganismos puede llegar a ser de 90 km/h.

Esta cualidad adaptativa de “disparar” los esporangios (a radios de 3 m) como siguiente paso requiere de un animal herbívoro que se alimente de él. Las esporas recorren el tracto digestivo del animal hasta salir de su organismo. Una vez fuera del cuerpo, el hongo crece y desarrolla, por lo que el nuevo “hongo madre” crecerá en las cercanías de la materia fecal del herbívoro, y, debido a un comportamiento adaptativo, estos no comerán cerca de esa zona, llamada “zona de repugnancia”.

Al madurar, el hongo genera una cámara llena de fluido (por medio de procesos osmóticos). Estos “cañones” integrados a los hongos disparan las esporas cuando la presión interna llega a su pico máximo, propulsándose así lejos del hongo “madre”. Las esporas disparadas acaban lo suficientemente lejos del hongo que le dio origen, en vegetación no contaminada. Los esporangios cuentan con un anillo de mucílago, el cual ayuda a que estos se adhieran a la vegetación a la espera de otro herbívoro que los devore, para así perpetuar su ciclo biológico asexual.

Conclusión

La ósmosis en sistemas biológicos se encuentra influenciada por una amplia cantidad de aspectos que van permeabilidad celular y concentración de solutos hasta temperatura y diferencia de cargas intra y extracelulares.

Los mecanismos de ósmosis se encuentran íntimamente relacionados a gran cantidad de procesos y funciones biológicas tanto en plantas y animales (individuos conformados por más de una célula y organizados en sistemas de tejidos y órganos) como en microorganismos como bacterias (unicelulares) u hongos (pluri o unicelulares). Así mismo, la ósmosis puede emplearse en diversos procesos industriales, como la conservación de alimentos o purificación de agua por ósmosis inversa.

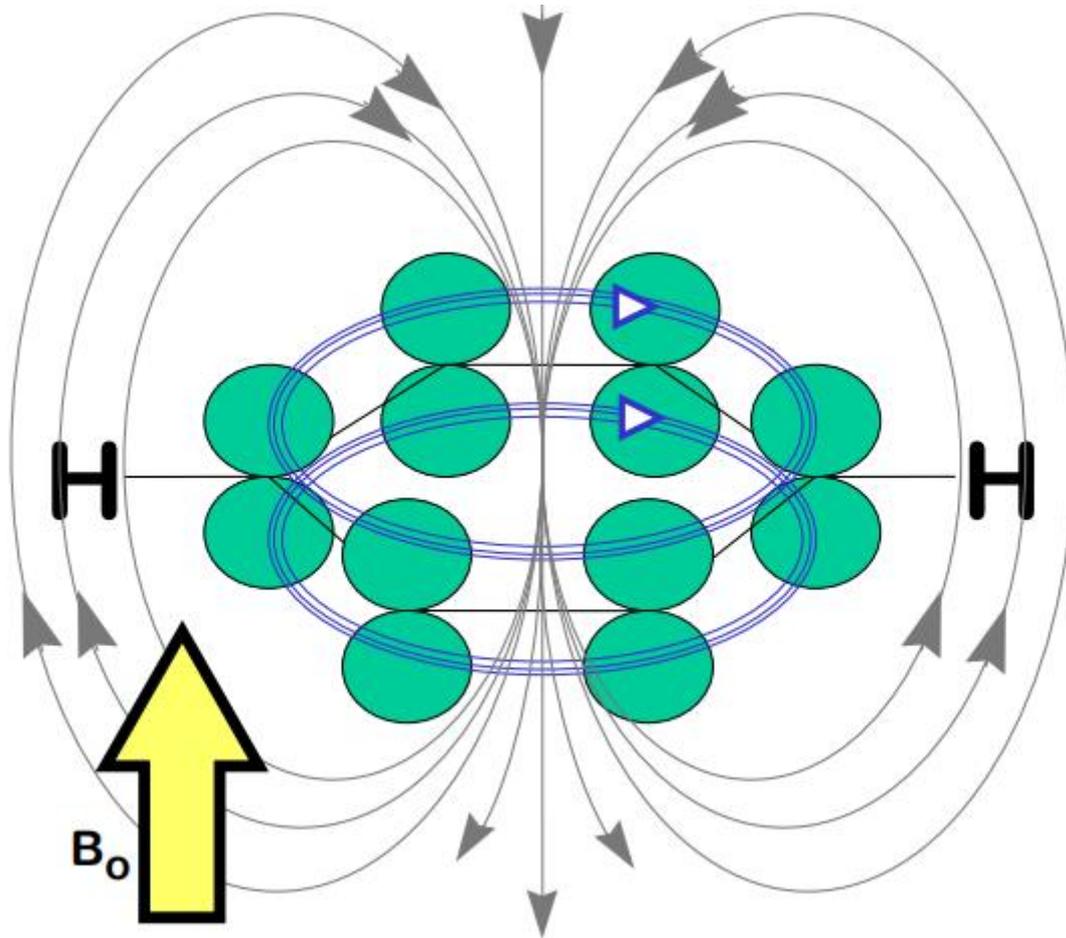
A pesar de que este tema suele ser de poco o nulo interés por su simplicidad física, la ósmosis es en realidad, altamente compleja e importante para el funcionamiento biológico y homeostático de muchos organismos.

Bibliografía y Cibergrafía

- Alberts B., Johnson A., Lewis J., Raaf M., Roberts K., Walter P., “*Biología molecular de la célula*”, 5ta ed.
- Curtis, Barnes, Schneek, Massarini, “Curtis Biología”, 7ma ed. en español.
- Jou David, Enric Llebot Josep, Pérez García Carlos , “*Física para ciencias de la vida*”, 1er ed.

- Cromer, Alan H., "*Física para ciencias de la vida*", 2da ed.
- Azcón-Bieto J., Talón M., "*Fundamentos de Fisiología Vegetal*", 2da ed.
- Mariana Ruiz Villareal, "*Difusión y transporte pasivo*", Khan Academy, disponible en: <https://es.khanacademy.org/science/biology/membranes-and-transport/passive-transport/a/diffusion-and-passive-transport>
- Dra. Salud Herrera Adán, Dra. Marta Egea Simón, Dra. Sofía Martínez Zaldumbide "*Tema 1: Agua, Fluidoterapia y Osmolaridad*", Fundación para la formación e investigación sanitarias de la Región de Murcia; disponible en: http://www.ffis.es/volviendoalobasico/tema_1_agua_fluidoterapia_y_osmolaridad.html
- Jesús Merino Pérez, María José Noriega Borge, "*Transporte a través de la membrana*", Página de Universidad de Cantabria, disponible en: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/879/course/section/967/Tema%25204-Bloque%2520II-Transporte%2520a%2520traves%2520de%2520Membrana.pdf>
- Melizza Petruzzello, "*Pilobolus: GENUS OF FUNGI*", Encyclopaedia Britannica, disponible en: <https://www.britannica.com/science/Pilobolus-fungus-genus>

CAMPOS ANISOTRÓPICOS (RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR DE HIDRÓGENO)



Arriola Melanie Solange

Licenciatura en Biología Molecular

2018

Índice

1. Introducción.....	3
2. Conceptos introductorios.....	4
2.1 Fuerza magnética.....	4
2.2 Campo magnético.....	4
2.3 Ley de Ampere.....	4
2.4 Dipolo magnético.....	4
2.5 Momento dipolar magnético (μ_0).....	4
2.6 Spin Nuclear.....	5
2.7 Momento Angular de Spin (S).....	5
2.8 Relación entre Momento Dipolar Magnético y Momento Angular de Spin.....	5
2.9 Relación entre Momento Magnético del Spin Nuclear y el Campo Magnético Externo (B_0).....	7
2.10 Ley de Faraday.....	8
3. Introducción a la Espectroscopia.....	9
3.1 Espectroscopia.....	9
3.2 Espectrómetro.....	9
4. Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear de Hidrógeno (RMN ¹ H).....	10
4.1 Espectrómetro de RMN ¹ H.....	12
4.2 Desplazamiento Químico.....	13
5. Campos Anisotrópicos.....	15
5.1 Alquenos.....	15
5.2 Alquinos.....	16
5.3 Aldehídos y Cetonas.....	17
5.4 Benceno.....	17
5.5 Porfinal.....	18
6. Conclusiones.....	20
7. Bibliografía.....	21

1. Introducción

El presente trabajo trata sobre la aplicación de principios del electromagnetismo y la espectrometría de resonancia magnética nuclear de hidrógeno para la detección y dilucidación de compuestos orgánicos.

En particular, trata sobre los campos anisotrópicos debido a los electrones π de la molécula que se observan en estructuras orgánicas particulares y que luego son observados por instrumentación específica.

La motivación de esta monografía se debe a la combinación de lo estudiado durante la cursada de física y las estructuras de las moléculas estudiadas en química orgánica, materia que encuentro muy apasionante.

2. Conceptos introductorios

2.1 Fuerza magnética

Refiere a la fuerza que se observa cuando las partículas cargadas están en movimiento.

2.2 Campo Magnético

Es la región del espacio donde existe una fuerza sobre una carga en movimiento, aparte de la fuerza eléctrica.

2.3 Ley de Ampere

La ley de Ampere establece que para cualquier trayecto de bucle cerrado, la suma de los elementos de longitud multiplicada por el campo magnético en la dirección de esos elementos de longitud, es igual a permeabilidad (μ_0) multiplicada por la corriente eléctrica encerrada en ese bucle.

$$\sum B_{\parallel} \Delta l = \mu_0 I$$

El campo magnético en el espacio alrededor de una corriente eléctrica, es proporcional a la corriente eléctrica que constituye su fuente, de la misma forma que el campo eléctrico en el espacio alrededor de una carga, es proporcional a esa carga que constituye su fuente.

2.4 Dipolo magnético

Es un elemento puntual que produce un campo magnético dipolar.

2.5 Momento dipolar magnético (μ_0)

Cuando un electrón gira alrededor de un núcleo atómico, hay un flujo de carga o corriente alrededor del núcleo. El momento dipolar magnético correspondiente determina la interacción de dicho electrón con un campo magnético aplicado.

$$\mu_0 = \frac{q}{2m} l$$

El momento magnético de una partícula cargada es proporcional a su momento angular; es paralelo al momento angular para una carga positiva y antiparalelo para una carga negativa.

2.6 Spin Nuclear

El spin nuclear es el número cuántico I que describe el momento angular asociado a una partícula ya sea de un electrón, protón o neutrón. Este momento se debe a los electrones del átomo que circulan alrededor del núcleo y generan un campo magnético que llevará asociado un determinado momento angular.

Este número cuántico puede tomar valores de $+\frac{1}{2}$ y $-\frac{1}{2}$ (α o β).

En el núcleo atómico, cada protón o neutrón se pueden aparear con otro con spin antiparalelo. Los pares de partículas que resultan de combinar un spin de signo positivo con otro negativo, da como resultado un spin de valor cero, por lo que los núcleos con número de protones y neutrones impar dan lugar a un spin neto, donde el número de desapareamiento contribuye con $\frac{1}{2}$ al total del spin nuclear.

2.7 Momento angular de spin (S)

Es un momento angular intrínseco. Desde el punto de vista de la física clásica se puede pensar que el electrón produce el campo magnético externo de un dipolo magnético debido a las espiras de corriente asociadas con la rotación de su carga. También se supone que la magnitud S y la componente z (S_z) del impulso angular de spin están relacionadas con dos números cuánticos, s y m_s , mediante relaciones de cuantización que son idénticas a las del impulso angular orbital.

$$S = \sqrt{s(s + 1)}\hbar$$

2.8 Relación entre momento dipolar magnético y Momento angular de spin

Experimentalmente la relación entre el momento magnético y el momento angular de spin para un protón es:

$$\mu = 2,79 \frac{e}{m_p} S$$

El momento del protón experimenta un par debido al campo magnético. Par que provoca un movimiento de precesión entre el momento y el spin del protón.

Se sabe que la energía de un dipolo que forma un ángulo θ con el campo magnético B_T es $U = -\mu B_T \cos \theta$. Cuando el campo magnético total B_T está en la dirección Z, la energía potencial del dipolo es $U = -\mu_z B_T$. Si S_z es la componente z del momento angular de spin, la energía es:

$$U = -2,79 \frac{e}{m_p} S_z B_T$$

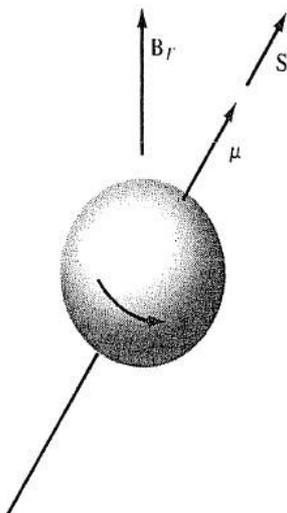
Para el protón, S_z es igual a $+h/2$ o bien $-h/2$. Por convenio se define el magnetón nuclear como

$$\mu_N = \frac{eh}{2m_p} = 5,05 \times 10^{-27} \text{ Am}^2$$

Por lo tanto, la energía potencial se convierte en

$$U = \pm 2,79 \mu_N B_T$$

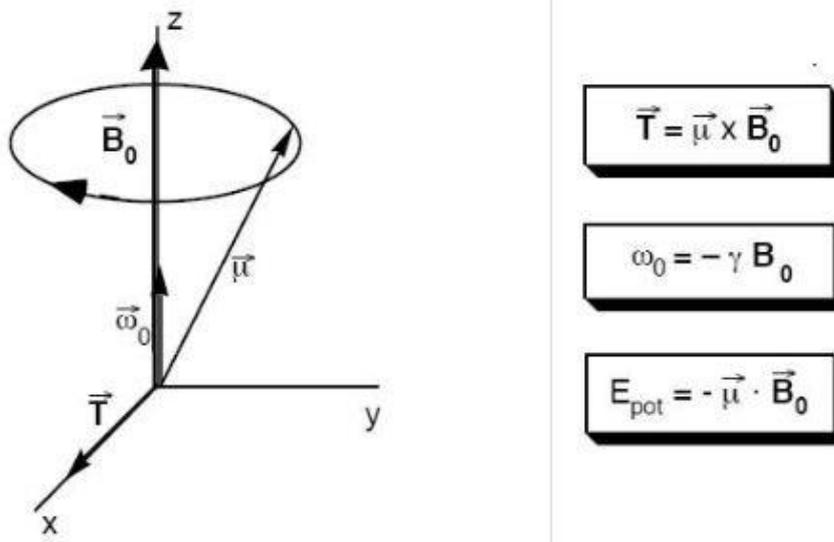
El signo menos se presenta cuando S_z y μ_z son paralelos al campo (spin hacia arriba) y el signo más aparece cuando son opuestos (Spin hacia abajo).



En la figura se observa el modelo clásico de una carga giratoria en un campo magnético B_T . El momento angular de spin S y el momento magnético μ son paralelos si la carga es positiva.

2.9 Relación entre el momento magnético del spin nuclear y el campo magnético externo (B_0)

Esta interacción se describe mediante un torque T que actúa sobre el momento magnético μ tendiendo a alinearse con el campo magnético, el sistema no es capaz de disipar esta energía y Como resultado μ precesa en torno a la dirección de B_0 con una frecuencia circular ω_0 denominada Frecuencia de Larmor.



La descripción cuántica del efecto tiene como resultado que la componente z del momento angular de spin está cuantizada, sólo puede asumir ciertos valores según sea el número cuántico magnético m_I .

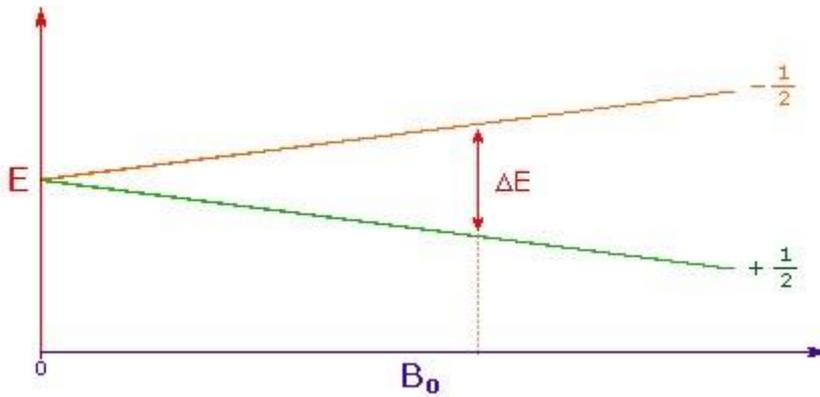
El número total de estados permitidos es $2I+1$. Para núcleos con $I=1/2$ sólo hay dos estados posibles $m_I = -\frac{1}{2}$ y $m_I = +\frac{1}{2}$. Cuando se inserta en un campo magnético B_0 , se produce un desdoblamiento en dos niveles de energía cuya separación es proporcional a la fortaleza del campo magnético.

$$\Delta E = -\gamma h \left(\frac{1}{2} - \left(-\frac{1}{2} \right) \right) B_0 = -\gamma h B_0$$

$$\Delta E = -\gamma h B_0$$

γ = Constante giromagnética

h = Constante de Planck



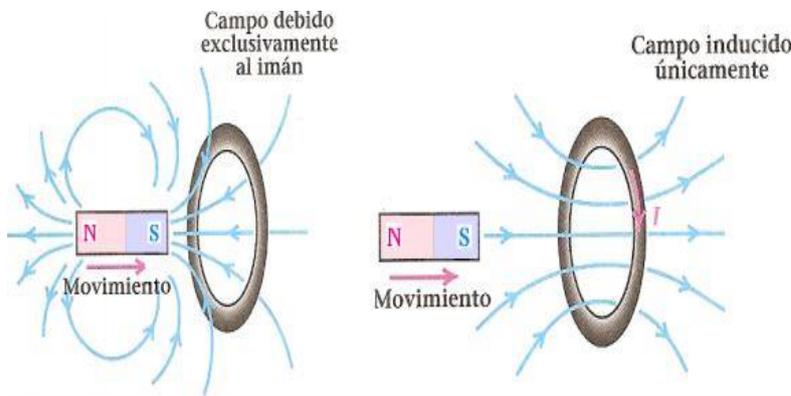
2.10 Ley de Faraday

Sea una espira circular de área A situada en un campo magnético B . Si es un vector unitario normal a la superficie determinada por la espira, el área A se puede expresar:

$$\vec{A} = A\hat{n}$$

Se define flujo del campo magnético a través de la espira A :

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos \theta$$



Cuando hay un cambio en el flujo magnético en una espira conductora, se induce en esta una fuerza electromotriz. Fenómeno conocido como inducción magnética.

Como la Fem inducida depende del área de la espira del circuito, esta es proporcional a la tasa de cambio del flujo magnético, Φ_B , que pasa a través del circuito o de la espira de área A .

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

El signo negativo en la ecuación anterior se debe a que sigue la **Ley de Lenz**, la cual dice que el sentido del campo magnético producido por la fem Inducida sobre la espira se opone a la variación de flujo en el interior de la misma.

3. Introducción a la espectroscopia

3.1 Espectroscopia

Es una técnica de análisis estructural que se basa en la absorción de radiación por parte de las moléculas. Dado que la absorción de un cuanto de radiación por una molécula puede provocar una transición desde el estado fundamental (normal) a uno de varios estados excitados posibles los cuales son detectados por espectrómetros.

3.2 Espectrómetro

La mayoría está conformado por cinco componentes: 1) una fuente estable de energía radiante; 2) un selector de longitud de onda para aislar una región limitada del espectro para hacer las mediciones; 3) uno o más contenedores de muestra; 4) un detector de radiación, para convertir la energía radiante en una señal eléctrica medible; y 5) una unidad de procesamiento y lectura de la señal que puede ser un hardware electrónico y en los instrumentos modernos una computadora.

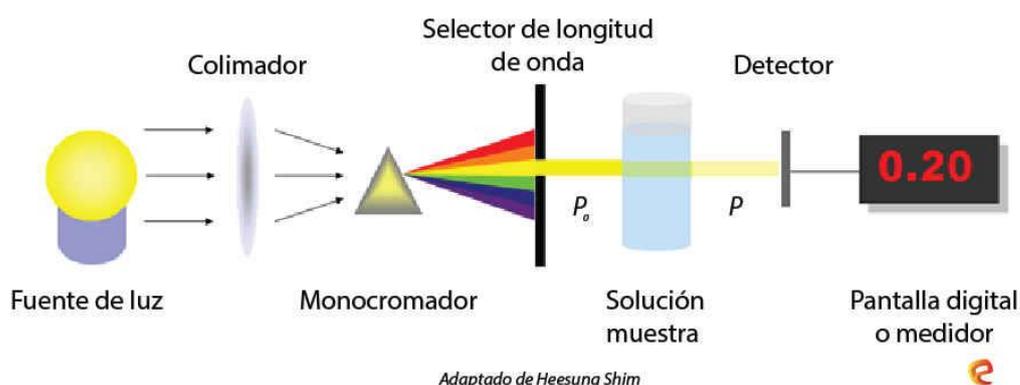


Fig1. Esta imagen pertenece a un espectrofotómetro pero la estructura general para todos los espectrómetros de cualquier tipo es la misma.

4. Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear de Hidrógeno (RMN ^1H)

Muchos núcleos atómicos se comportan como si estuvieran girando sobre sí mismos y por lo tanto se dice que presentan Spin nuclear (Núcleos con número impar de protones o neutrones y sus isótopos). Uno de ellos es el hidrógeno ^1H , el cual al estar cargado positivamente, su movimiento de giro crea un campo magnético, como cualquier otra partícula cargada, este se puede visualizar como un imán diminuto flotando libremente en una disolución o en el espacio; pero cuando este se encuentra expuesto a un campo magnético externo, de intensidad H_0 , puede adoptar una de dos orientaciones: alineado con H_0 una situación energéticamente favorable, o (a diferencia de un imán) contra H_0 una opción que requiere energía designadas como estados de Spin α y β .

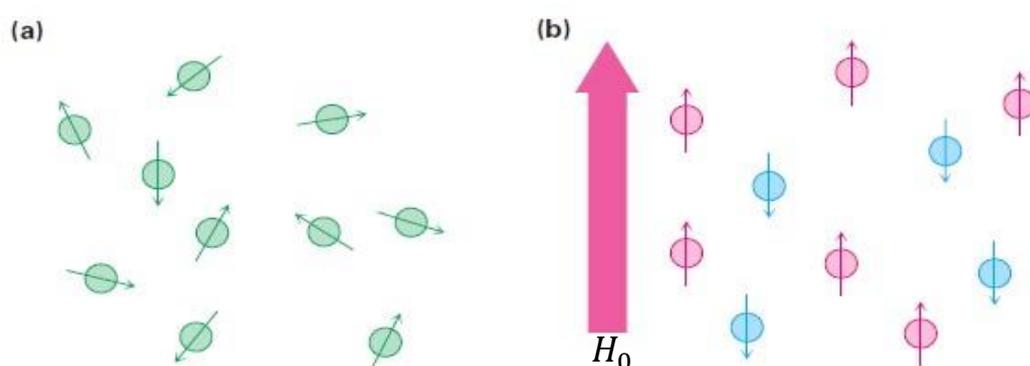


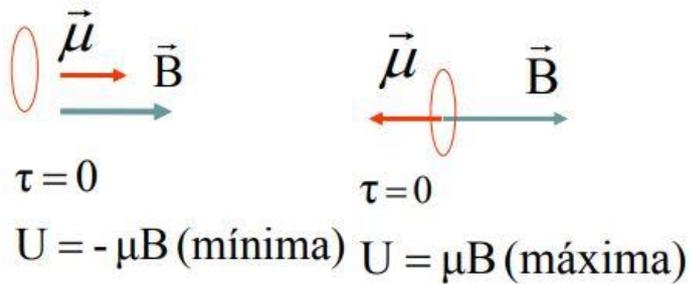
Fig2. (a) Los spines nucleares se orientan aleatoriamente en ausencia de un campo magnético externo, pero (b) tienen una orientación específica en presencia de un campo magnético externo H_0 .

Que la situación sea energéticamente favorable o desfavorable se debe a que el protón experimenta un par debido al campo magnético. Par que provoca un movimiento de precesión entre el momento y el spin del protón.

Como la energía de un dipolo que forma un ángulo θ con el campo magnético B_T es $U = -\mu B_T \cos \theta$ para el caso de un protón la energía potencial se convierte en:

$$U = \pm 2,79\mu_N B_T$$

El signo menos se presenta cuando S_z y μ_z son paralelos al campo (spin hacia arriba) y el signo más aparece cuando son opuestos (Spin hacia abajo).



Si se irradian los núcleos orientados de una muestra con radiación electromagnética en la región de las radiofrecuencias (Aproximadamente de 4 a 900 MHz), se produce una absorción de energía produciendo que el estado de menor energía (α) “invierta su spin” al estado de mayor energía (β). Cuando esto ocurre se dice que los núcleos magnéticos están en resonancia con la radiación aplicada.



La diferencia de energía (ΔE) entre los estados de spin α y β depende directamente de la intensidad del campo externo H_0 y de la identidad de los núcleos. Cuanto mayor sea H_0 mayor será la diferencia de energías por lo que se requerirá una radiación con mayor frecuencia para invertir el Spin.

Como el sistema no es capaz de disipar esta energía μ precesa entorno a la dirección de H_0 con una frecuencia circular ω_0 (Frecuencia de Larmor) que es proporcional al campo magnético estático y característica de cada tipo de núcleo (ya que núcleos magnéticos diferentes resuenan a valores diferentes de frecuencia).

$$\Delta E = -\gamma h B_0$$

γ = Constante giromagnética

B_0 = Campo magnético externo H_0

h = Constante de Planck

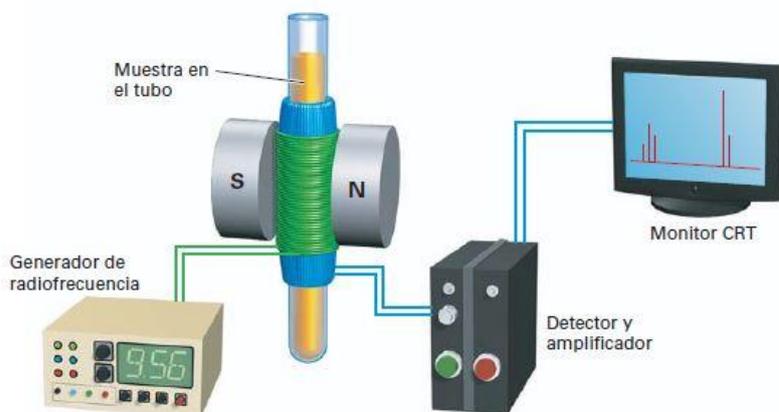
Después de la excitación, el núcleo se relaja y vuelve a su estado original a través de diversos mecanismos, por los cuales se libera la energía absorbida en forma de fotón, también a la Frecuencia de Larmor.

El equilibrio entre los estados α y β es muy rápido, por lo que normalmente sólo algo más de la mitad de los núcleos de protones en el seno de un campo magnético adoptan el estado α . Cuando se produce la resonancia la diferencia entre ambos estados se reduce, pero supone tan solo una mínima variación en la situación de cuasi-igualdad de poblaciones, ya que si no hubiera una diferencia de poblaciones no se produciría la resonancia ($\Delta E = 0$).

4.1 Espectrómetro de RMN 1H

Consta de cinco partes:

- 1- **Imán** capaz de crear un campo magnético intenso, uniforme y estable.
- 2- **Sonda** que contiene las bobinas utilizadas para excitar y detectar la señal.
- 3- **Transmisor de alta potencia** capaz de operar con impulsos de muy corta duración
- 4- **Receptor de alta sensibilidad** para amplificar la señal detectada antes de la digitalización.
- 5- **Sistema de Control** es el encargado de supervisar y sincronizar las partes del espectrómetro y de interactuar con el usuario a través de la estación de trabajo.

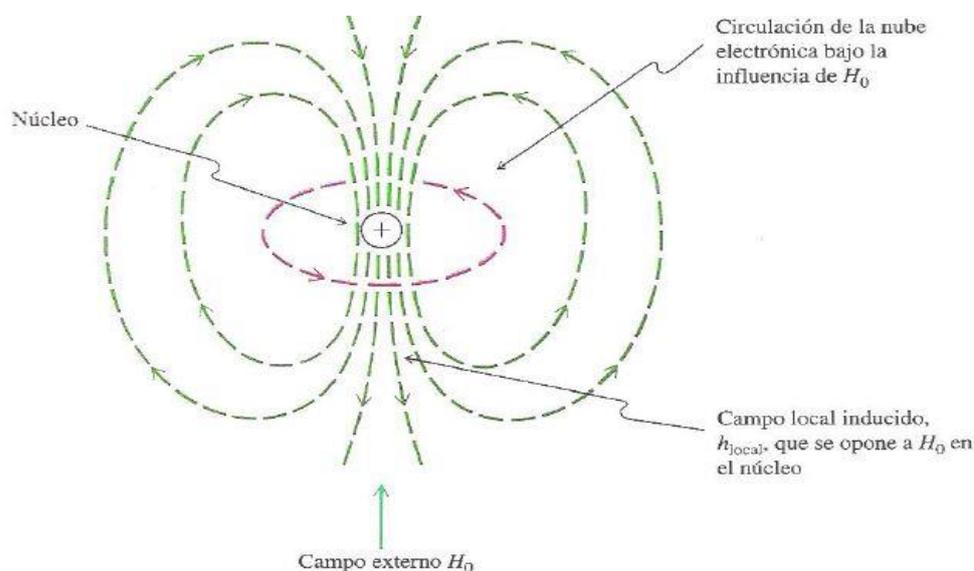


4.2 Desplazamiento Químico

Es el corrimiento o desplazamiento observado en la frecuencia de absorción de los protones de una molécula respecto al de los protones libres en un campo magnético externo H_0 . Este desplazamiento depende de la densidad electrónica alrededor del hidrógeno la cual está controlada por la estructura molecular en la proximidad del núcleo observado.

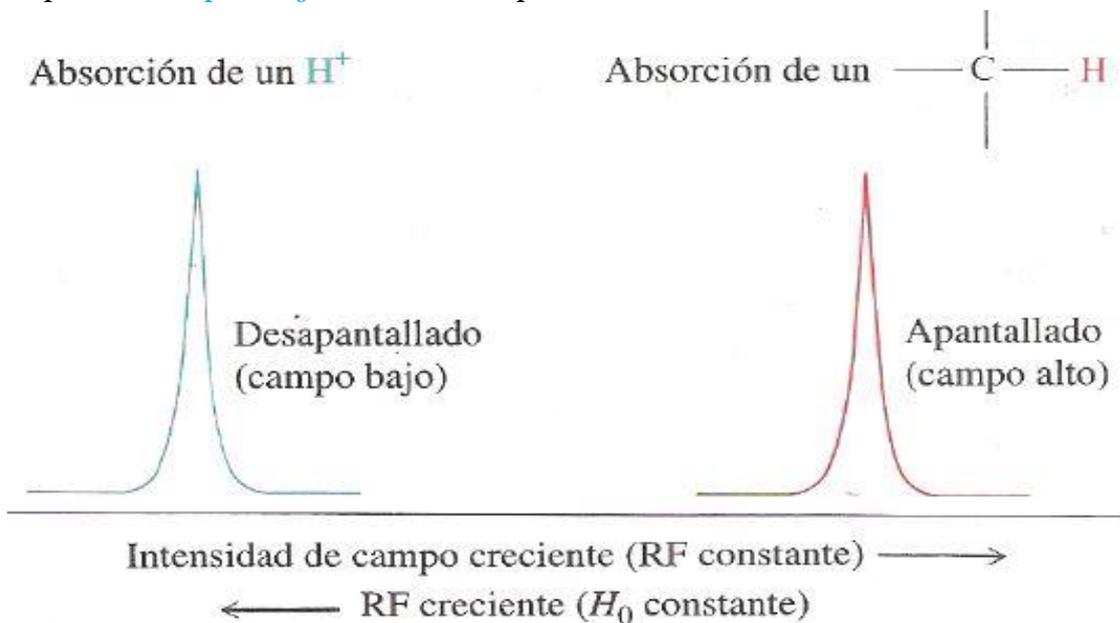
En el caso de las moléculas orgánicas, los núcleos de hidrógeno no son protones libres porque están unidos covalentemente a otros átomos, y, por lo tanto los electrones de los enlaces afectan a las absorciones de resonancia. Estos protones se encuentran rodeados por una nube electrónica cuya densidad varía según la polaridad del enlace, la hibridación del átomo al que están unidos y la presencia de grupos dadores o aceptores de electrones.

Cuando un núcleo rodeado de electrones se somete a un campo magnético de intensidad H_0 , la corriente de electrones se moverá de modo que generen un pequeño campo magnético local h_0 que se opone a H_0 para contrarrestar el cambio (Ley de Lenz). Como consecuencia de esto se produce una disminución de la intensidad del campo total en las cercanías del núcleo de hidrógeno. Se dice entonces que el núcleo de hidrógeno está apantallado frente a H_0 por la nube electrónica.



El grado de apantallamiento depende de la densidad electrónica alrededor de núcleo. Cuanto mayor es la densidad electrónica más se incrementa el **apantallamiento** (h_o) y para contrarrestarlo, el campo externo H_0 se debe incrementar para alcanzar la resonancia, por lo que, se dice que el pico está

en **campos altos** (hacia la derecha) por el contrario, Si hay una disminución en la densidad electrónica se produce un **desapantallamiento** que conduce el pico a **campos bajos** (hacia la izquierda).



Un problema que surge es que las distintas señales varían con la intensidad del campo magnético aplicado H_0 . Por lo que se realiza una normalización de la frecuencia f respecto al campo H_0 , eligiendo una frecuencia de referencia f_{ref} que se asocia con el cero en el nuevo espacio normalizado, y que se hace coincidir con la frecuencia de Larmor para un campo de valor exactamente H_0 .

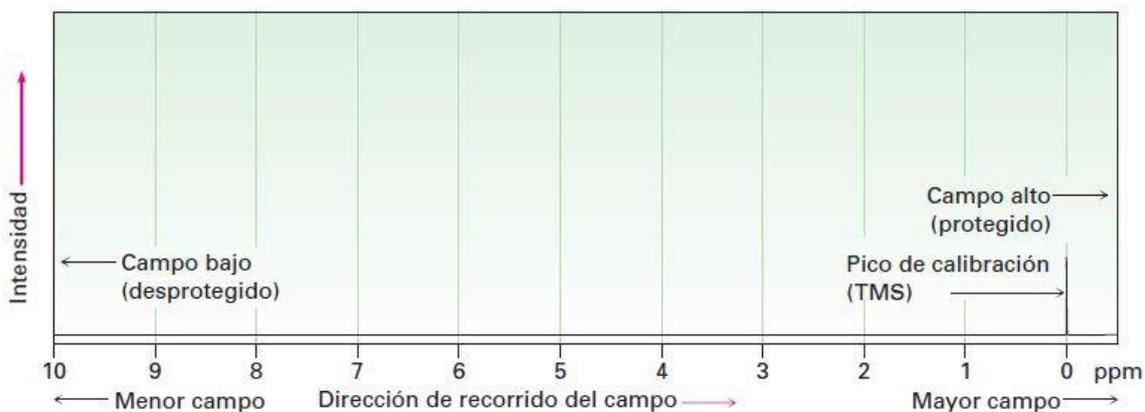
$$f_{ref} = \gamma H_0 \longrightarrow \delta = 0$$

De esta manera, los nuevos valores solo dependen de la distancia a la frecuencia de referencia escogida, y no del campo magnético externo H_0 según:

$$\delta = \frac{f - f_{ref}}{f_{ref}}$$

Estas frecuencias se referencian con respecto a un patrón interno, el tetrametilsilano $(CH_3)_4Si$ (TMS), en el cual los doce hidrógenos equivalentes se encuentran más apantallados que la mayoría de las moléculas orgánicas (dada por su simetría) provocando que no experimente

desplazamiento químico, coincidiendo con el origen en el espectro resultante ($\delta = 0$).



5. Campos Anisotrópicos

El efecto anisotrópico es el cambio en las propiedades de la materia dependientes de la dirección en la que son examinadas.

Por lo que, que un campo magnético sea anisotrópico significa que sus propiedades magnéticas no presentan homogeneidad al ser medidas en diferentes direcciones del espacio.

Este efecto se observa en moléculas que presentan electrones π , que al sentir el campo externo producen un campo inducido que se opone al externo en el interior del enlace π (doble enlace) pero que está a favor de este en el exterior de dicho enlace. Esto provoca un desapantallamiento en los protones próximos a los dobles enlaces y a los anillos aromáticos llevándolos a un desplazamiento superior a lo esperado. Estos tipos de moléculas son:

5.1 Alquenos

En este tipo de compuestos además de la hibridación sp^2 que presentan los carbonos y que poseen un gran carácter electro atrayente al tener electrones π generan un campo anisotrópico. En este caso en presencia de un campo magnético externo y perpendicular al eje del doble enlace, los electrones π adquieren un movimiento circular que origina un campo magnético local (h_{local}) que refuerza el campo magnético externo H_0 en los extremos del doble enlace y como consecuencia de ello los hidrógenos alquénicos resultan fuertemente desapantallados.

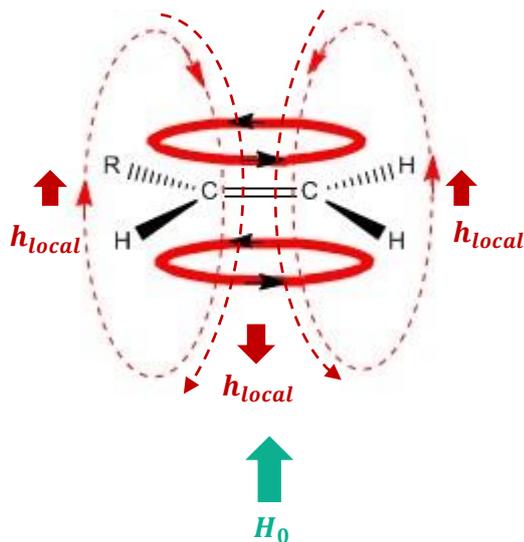
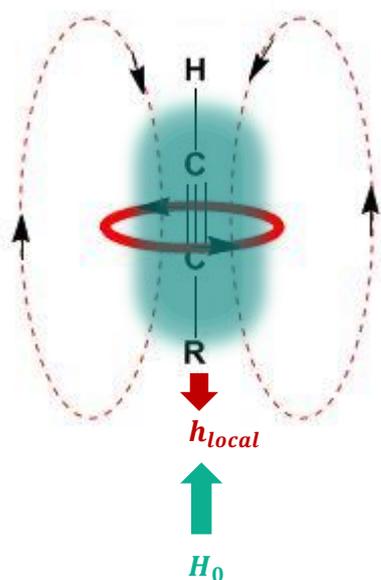


Fig. Un campo externo H_0 , induce un movimiento circular de los electrones por encima y por debajo del plano del doble enlace. Este movimiento origina a su vez un campo magnético local h_{local} que se opone a H_0 en el centro del doble enlace, pero que lo refuerza en las posiciones ocupadas por los protones

5.2 Alquinos

Generalmente los protones unidos a átomos de carbono con hibridación sp resuenan a $\delta \cong 1,7 - 3ppm$. Pero al igual que los alquenos el campo magnético externo induce en los electrones π del triple enlace un movimiento circular. Sin embargo la distribución cilíndrica de estos electrones comporta que la dirección de este movimiento sea perpendicular al que experimentan los electrones de un doble enlace. Es decir el campo magnético local (h_{local}) generado se opone a H_0 en las proximidades de los hidrógenos alquínílicos. Obteniendo como resultado un considerable efecto apantallante que cancela la tendencia desapantallante del carbono electroatrayente con hibridación sp .

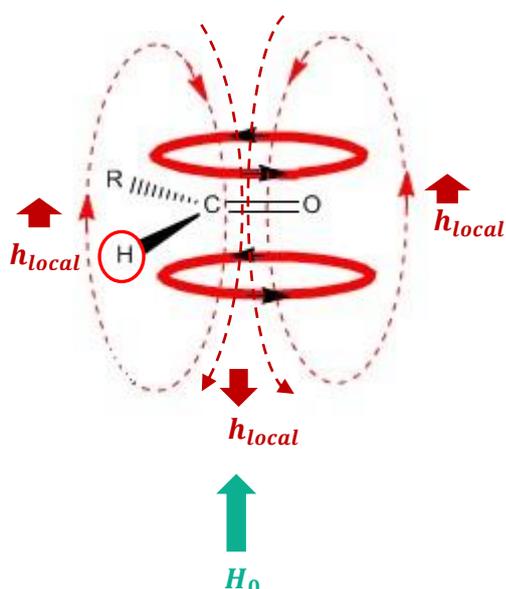


Como consecuencia del efecto apantallamiento se necesita un campo magnético mayor para producir la resonancia. Por lo que resuenan a campos altos $\delta = 2,06ppm$

5.3 Aldehídos y Cetonas

Los protones de los aldehídos absorben cerca de los $\delta = 9 - 10$ ppm y son muy característicos debido a que no se presentan otras absorciones en esa región. Estos electrones están fuertemente desapantallados debido a dos efectos, en primer lugar al igual que en los alquenos, el movimiento de los electrones π induce un campo magnético local (h_{local}) que refuerza el campo externo.

En el caso de las cetonas los hidrógenos de los carbonos adyacentes resuenan normalmente en la región $\delta = 2.0 - 2.8$ ppm debido a que también se encuentran desapantallados debido al carácter electroatrayente del grupo funcional.



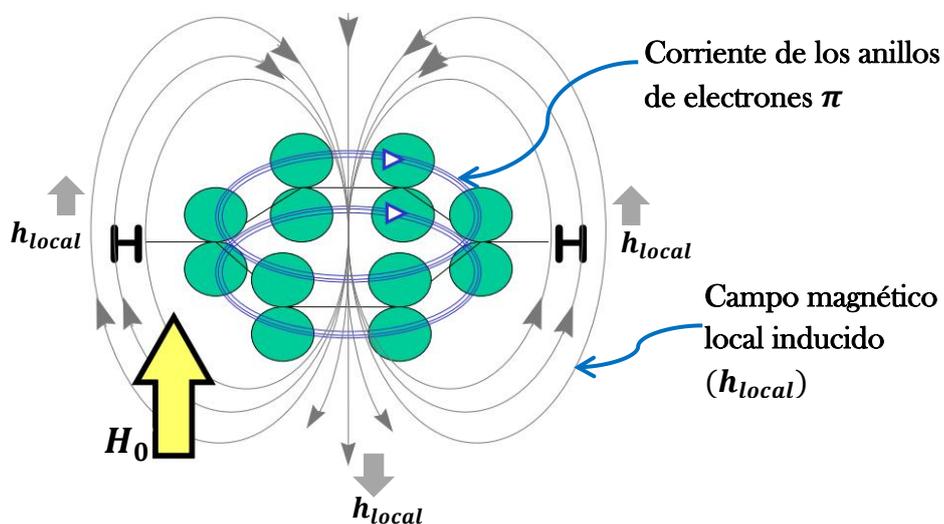
5.4 Benceno

El benceno posee seis átomos de carbono en un anillo sobre el que insertan átomos de hidrógeno. Por encima y por debajo del anillo del carbono los electrones pueden desplazarse libremente de unas regiones de forma toroidal lo que es común llamarlo como deslocalización cíclica de los electrones π . Este sistema cíclico se lo puede imaginar como si fuera una espira de metal conductor que cuando se somete a un campo magnético perpendicular (H_0), los electrones siguen la Ley de Lenz por lo que generan una corriente de anillo que genera a su vez un nuevo campo magnético local (h_{local}) que se opone al inducido (H_0) en el interior de la

espira. Pero que es reforzado en el exterior, precisamente donde se encuentran los hidrógenos, como resultado de ello el campo magnético en la vecindad de los hidrógenos es igual a $H_0 + h_{local}$.

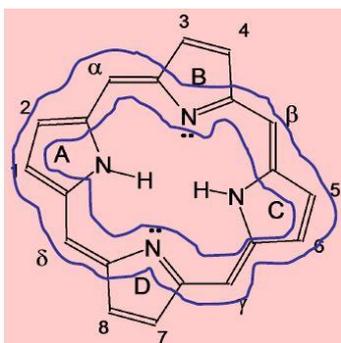
Debido a esto para que se produzca la resonancia el campo magnético aplicado debe ser $H_0 - h_{local}$. Provocando el desapantallamiento de los núcleos, efecto que es máximo cerca del anillo y disminuye rápidamente con la distancia.

Por causa del campo anisotrópico los anillos de benceno caen a campos muy bajos ($\delta = 6.5 - 8.5ppm$) incluso menores que los hidrógenos alquénlicos.



5.5 Porfinal

Las porfirinas son derivados heterocíclicos de amplia distribución en la naturaleza. Se combinan con Fe y las cadenas proteicas para constituir la hemoglobina y la mioglobina y además se coordinan con Mg para constituir las clorofilas.



En particular la porfinal es de gran interés en RMN ya que presenta 22 electrones π de los cuales 18 están deslocalizados entre los 16 átomos del macrociclo.

Los hidrógenos internos caen a campos muy bajos ($\delta = -2,99$), incluso más bajo que el TMS (Lo que es un caso muy particular) debido a que estos penden en una cavidad donde el campo magnético inducido (H_0) es muy alto por la gran circulación de electrones en el macrociclo altamente conjugado causando el desapantallamiento de los mismos.

Para el caso de los hidrógenos externo sucede lo mismo que en el benceno, causando que caigan a campos muy bajos ($\delta = 9,29$).

6. Conclusiones

Los protones se comportan como pequeños imanes en presencia de un campo magnético inducido (H_0) orientándose a favor o en contra del mismo, a diferencia de un protón libre que presenta una orientación indefinida.

En un espectrómetro de RMN ^1H se observan “picos” que se desplazarán según la densidad electrónica y la estructura de la molécula.

Hay compuestos que presentan campos anisotrópicos en los cuales las propiedades magnéticas no son homogéneas independientemente de la dirección del espacio. Estos efectos se presentan particularmente en moléculas que poseen electrones π (dobles enlaces) que al ser sometidos por un campo magnético inducido (H_0) el flujo de electrones en el interior del enlace produce un campo magnético local (h_{local}) que se opone al inducido, el flujo de electrones en el exterior del enlace produce un campo magnético local que se suma al inducido. Efecto que se producen en moléculas como, Alquenos, Aldehídos, Cetonas, Benceno y Porfina1.

Un caso diferente de este efecto son los Alquinos en el que los electrones presentan una distribución cilíndrica causando que el flujo de electrones sea perpendicular al que experimentan los demás compuestos, causando que el campo magnético local (h_{local}) generado se oponga al inducido (H_0) en el exterior del triple enlace.

En general estos efectos en particular (muy importante para la dilucidación de moléculas orgánicas) siguen leyes fundamentales de la física, como la ley de Ampere, Faraday, Lenz e incluso la ley de acción y reacción de Newton.

7. Bibliografía

- Kane y M. Sternheim. Física. Ed. Reverte. 1986.
- Douglas C. Gianoli. Volumen II Física para Ciencias e Ingeniería con física moderna. Ed Pearson. Cuarta Edición 2009.
- Eisberg y Resnick. Física Cuántica.
- Skoog, West, Holler y Crouch. Fundamentos de Química Analítica. 9th Edición.
- John McMurry. Química Orgánica. Ed. Paraninfo. 2004.
- Vollhardt, K.P.C y Schore, N.E. Ed. Omega 2008.
- Lorena Pérez Méndez (2009): Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona.
- Germán Fernandez. Anisotropía Magnética-Apantallamiento Paramagnético. Disponible en: <https://www.quimicaorganica.org/resonancia-magnetica-nuclear/802-rmn-anisotropia-magnetica.html>
- Introducción ao RMN. Universidad de Santiago de Compostela. Disponible en: <http://www.usc.es/gl/investigacion/riaidt/rm/rmn/introduccion.html>
- Resonancia Magnética Nuclear. Química Física III. Universidad de Valencia. Disponible en: https://www.uv.es/tunon/QFIII/tema_1.pdf

- Hugo Velasco, Valeria Cornette. Física. Teoría. Universidad Nacional de San Luis. Disponible en: <http://www0.unsl.edu.ar/~cornette/teorias.html>