

Un trabajo de  
Alberto Lahore



# ISOMERÍA ÓPTICA



Segunda parte

LUZ POLARIZADA Y  
ACTIVIDAD ÓPTICA  
DE LAS SUSTANCIAS



La luz...

Determinados fenómenos pueden explicarse adjudicando a la luz una naturaleza *ondulatoria*, describiéndola mediante parámetros tales como *longitud de onda*, *frecuencia*, *amplitud de onda*. Estas ondas son de carácter *electromagnético*...





La **luz** es la parte visible del ***espectro electromagnético***.

Éste incluye también a los rayos  $\gamma$ , los rayos X, la radiación ultravioleta, la radiación infrarroja, las microondas, las ondas de VHF, UHF, de radio, etc. Todas las radiaciones electromagnéticas se propagan a la velocidad de  $2,998 \times 10^8$  m/s en el vacío.

Pero además, ciertas interacciones de la luz con la materia, conducen a concebir la luz en forma de “paquetes” de energía, denominados *fonones*. Ambas teorías sobre la naturaleza de la luz no se contradicen, sino que se complementan: en determinados experimentos, la luz se comporta en forma de *ondas*; en otros, como *fonones*. (Como si fuera una moneda, que nos muestra dos caras distintas; una u otra, pero no ambas a la vez...)

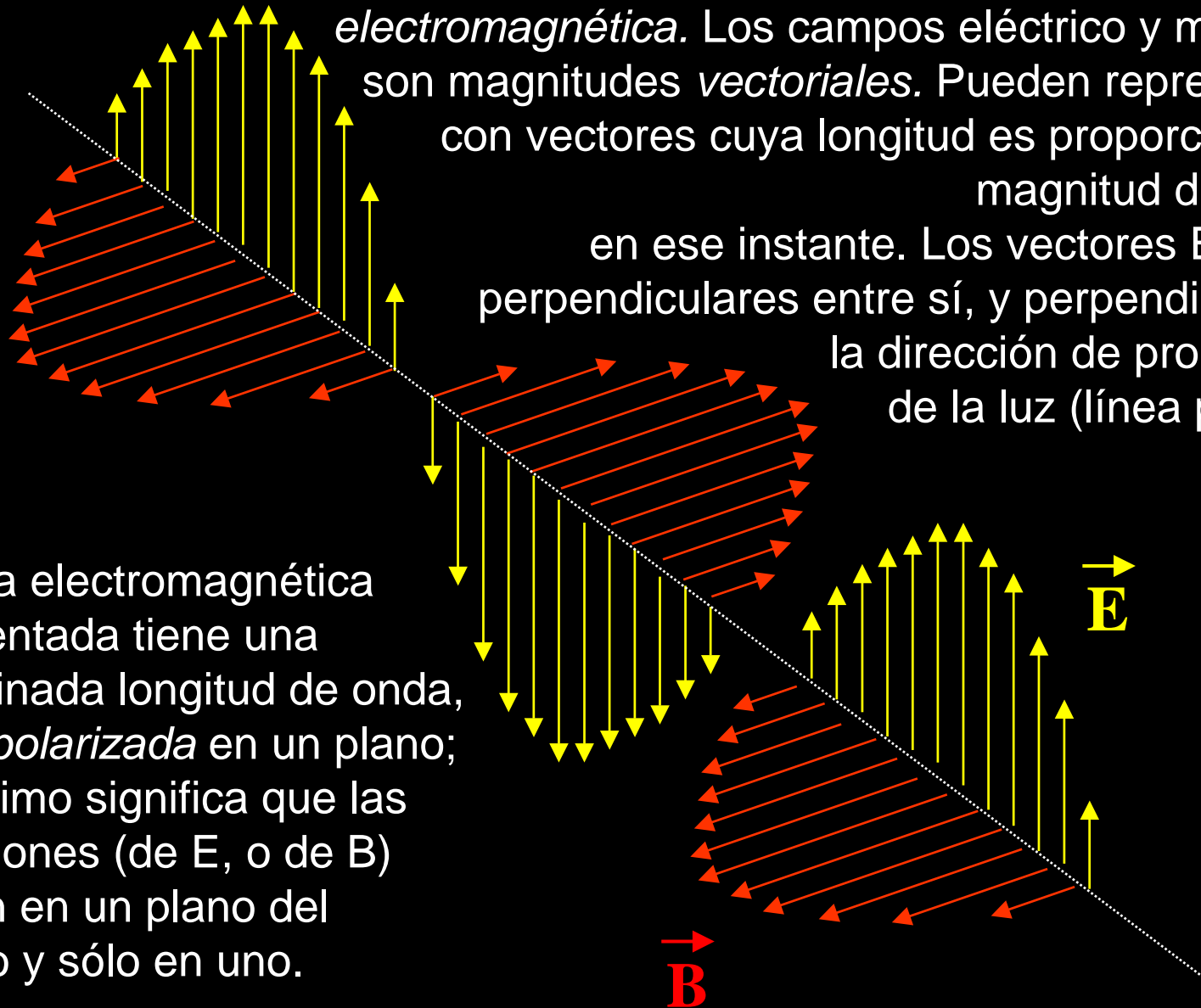
**Luz y materia** forman el Universo; tanto la luz como la materia presentan este enigmático carácter dual *onda-partícula*...

En palabras de Einstein e Infeld: “Todas las ideas esenciales de la ciencia han surgido del conflicto dramático entre la realidad y nuestros deseos de comprenderla”. (*The evolution of Physics*, 1939).



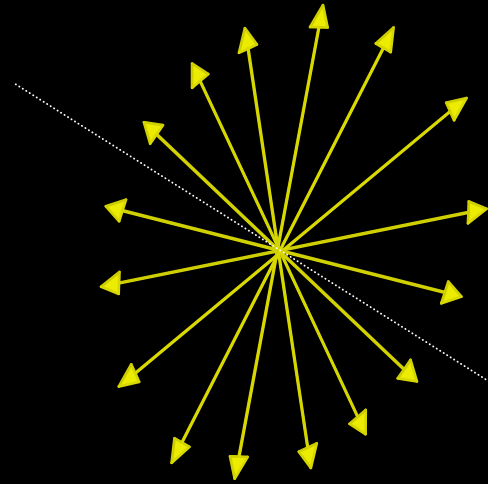


Variación del *campo eléctrico* oscilatorio  $E$ , y del *campo magnético* oscilatorio  $B$ , en una *onda electromagnética*. Los campos eléctrico y magnético son magnitudes *vectoriales*. Pueden representarse con vectores cuya longitud es proporcional a la magnitud del campo en ese instante. Los vectores  $E$  y  $B$  son perpendiculares entre sí, y perpendiculares a la dirección de propagación de la luz (línea punteada blanca).



La onda electromagnética representada tiene una determinada longitud de onda, y está *polarizada* en un plano; esto último significa que las oscilaciones (de  $E$ , o de  $B$ ) ocurren en un plano del espacio y sólo en uno.



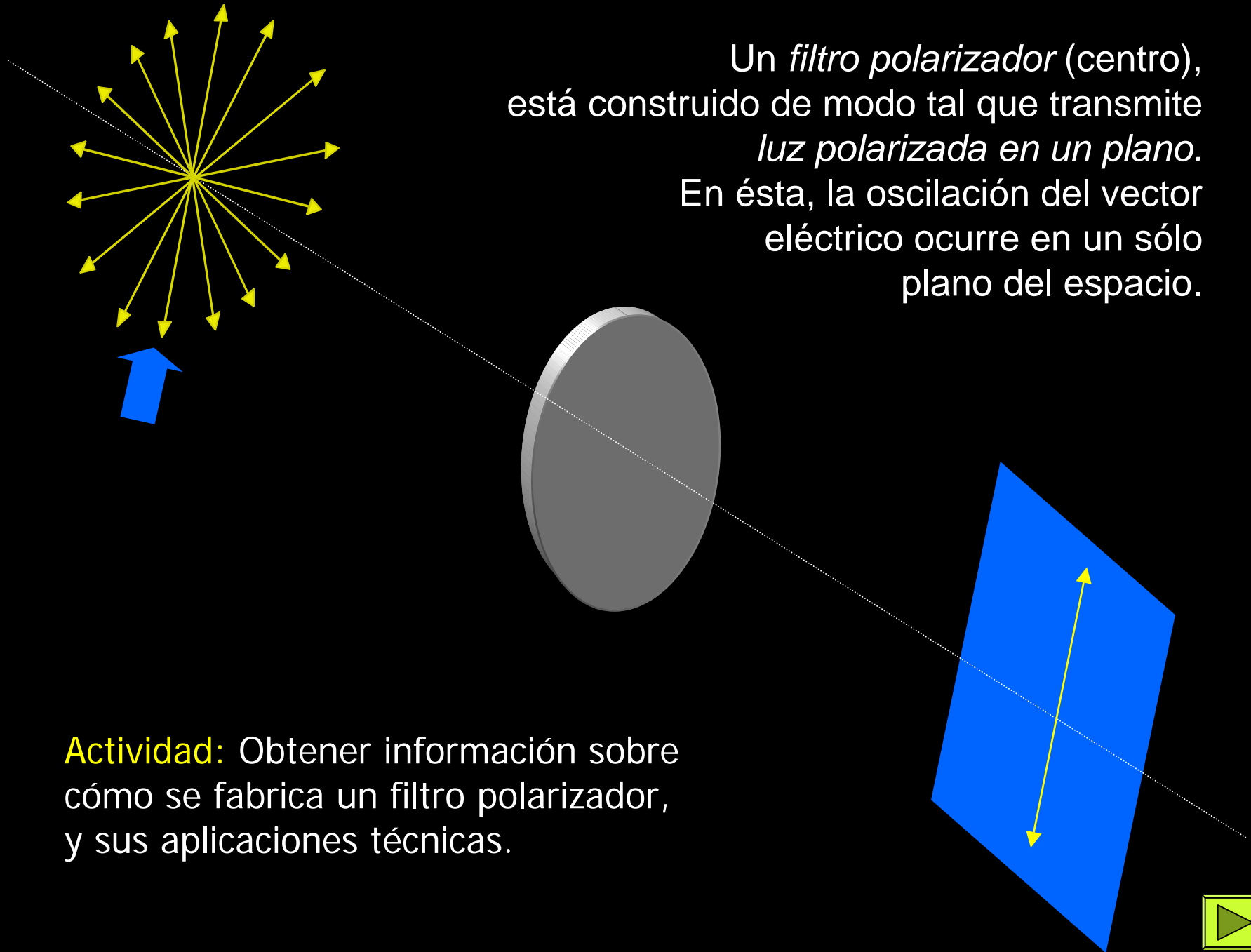


En la luz común, no polarizada, las oscilaciones del campo eléctrico y magnético ocurren en todas las direcciones perpendiculares a la dirección de propagación de la luz.

Los vectores dibujados corresponden al campo eléctrico  $E$ .  
A cada uno de ellos le corresponde otro vector perpendicular (no dibujado), del campo magnético  $B$ .



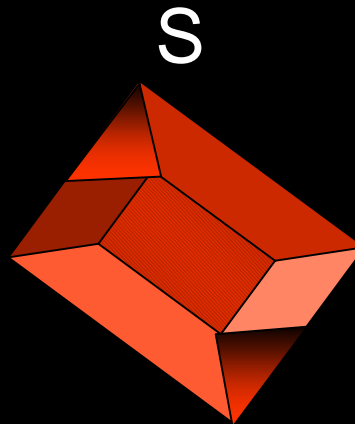
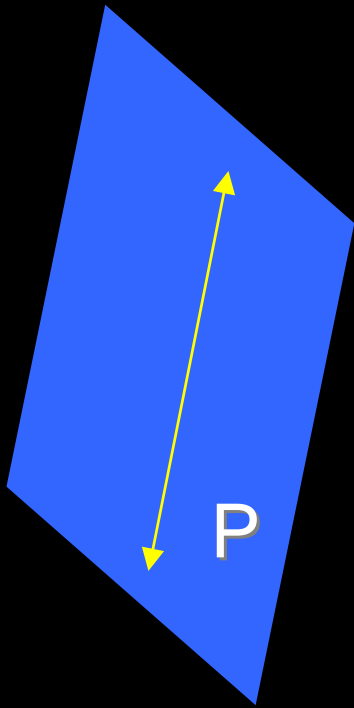
Un *filtro polarizador* (centro),  
está construido de modo tal que transmite  
*luz polarizada en un plano*.  
En ésta, la oscilación del vector  
eléctrico ocurre en un sólo  
plano del espacio.



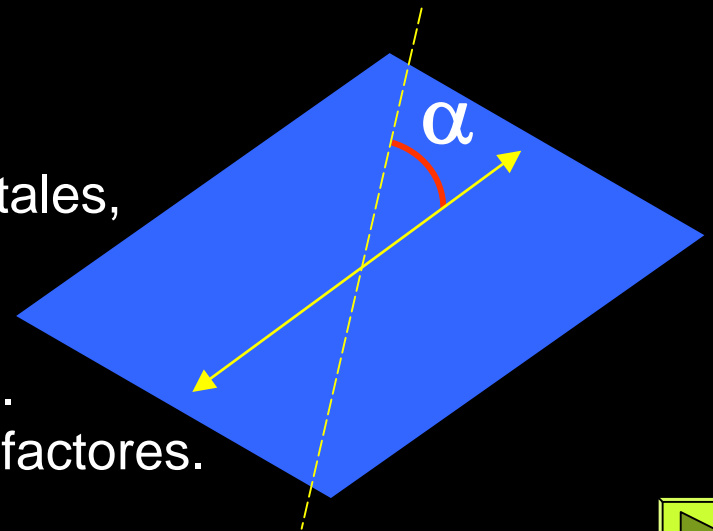
**Actividad:** Obtener información sobre  
cómo se fabrica un filtro polarizador,  
y sus aplicaciones técnicas.

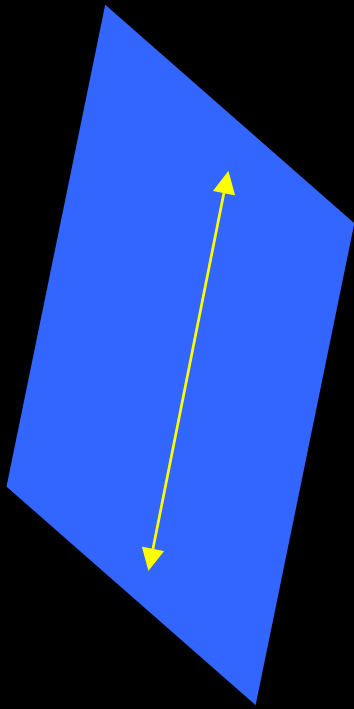


Algunos sistemas (S), al ser atravesados por la luz polarizada (P), producen una rotación en el *plano de polarización de la luz*.

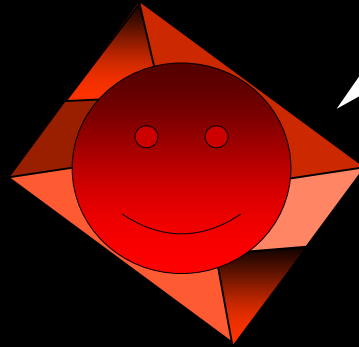


Presentan esta propiedad determinados cristales, como el cuarzo; o incluso sustancias en solución acuosa, por ejemplo dos de los glúcidos más conocidos: sacarosa y glucosa. El ángulo de rotación ( $\alpha$ ) depende de varios factores.



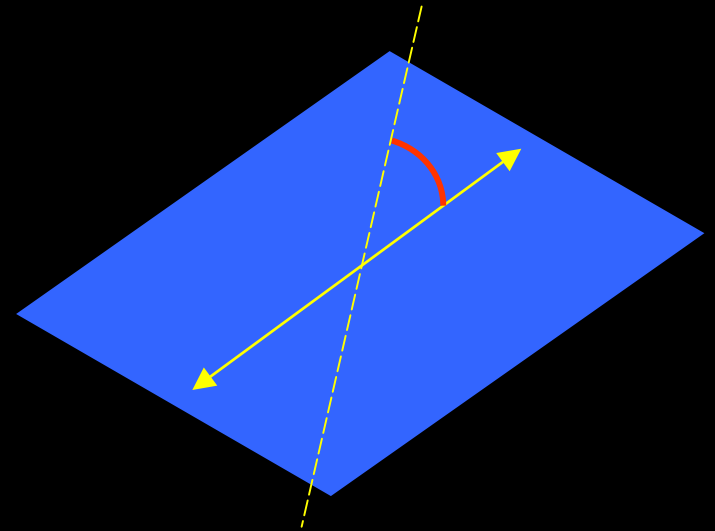


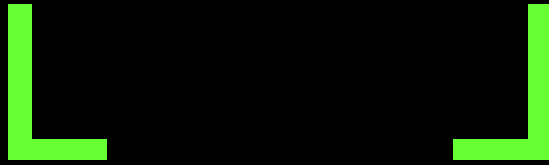
iii Tengo actividad  
óptica !!!



Las sustancias  
que producen la rotación del plano  
de polarización de la luz, se llaman  
***ópticamente activas.***

También se dice que presentan  
***actividad óptica.***





## La actividad óptica se debe a la asimetría...

Esta **asimetría** puede hallarse:

- 1) exclusivamente en los **crisales** (por ejemplo, el cuarzo), desapareciendo la actividad óptica si la sustancia cristalina se transforma en líquida;
- 2) en las **moléculas** en sí mismas, en cuyo caso la actividad óptica se presentará también si la sustancia es líquida o aún si se encuentra en solución (ejemplos: sacarosa, glucosa).



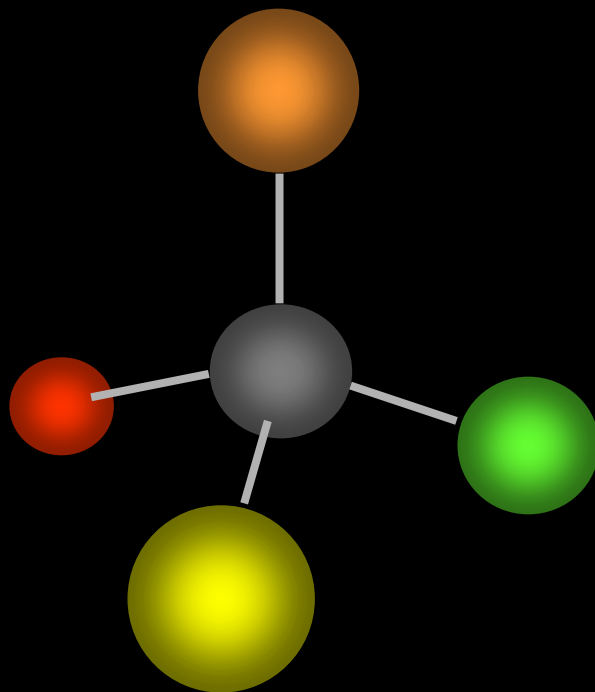
La respuesta a por qué la asimetría produce la rotación del plano de la luz polarizada, es que la asimetría provoca un retraso de uno de los componentes de la luz polarizada *circularmente...*

Lo que en última instancia tiene su explicación en los términos matemáticos de la *mecánica cuántica...*

Por lo que nos conviene seguir adelante...







Si la molécula tiene *un átomo de carbono quiral*,  
es *asimétrica*, y por lo tanto,  
la sustancia presentará *actividad óptica...*



Con todo, la presencia de un átomo de carbono quiral no es una condición *necesaria* para la existencia de actividad óptica.

Por ejemplo: el ion complejo hexacoordinado *dicloro bis etilendiamincobalto (III)*, no tiene ningún carbono quiral, y sin embargo presenta actividad óptica, debido a que su estructura es *asimétrica*...

Por el contrario, existen moléculas que, aún teniendo carbonos quirales, presentan por “compensación interna” una *simetría* tal que resultan ópticamente *inactivas*.

Este es el caso, por ejemplo, de uno de los isómeros del ácido tartárico (*ácido dihidroxi butanodioico*), compuesto que presenta dos carbonos quirales *iguales* entre sí (unidos a idénticos grupos).





El **polarímetro** es el instrumento empleado para medir la *actividad óptica* de una sustancia. Este polarímetro automático digital está indicando un ángulo de rotación de  $98^{\circ}33'$ .



El ángulo  $\alpha$  varía de acuerdo al *número de moléculas con actividad óptica que se encuentren en el trayecto de la luz polarizada*, por lo que la rotación observada dependerá de: la *longitud de la trayectoria* que recorra la luz polarizada a través de la muestra ópticamente activa; de la *densidad* de la sustancia si ésta no está disuelta, y de la *concentración* si está en solución. Por varias razones, también influye el *solvente* empleado.

El ángulo  $\alpha$  también depende de la *longitud de onda* de la luz empleada, razón por la cual los polarímetros trabajan con luz de una determinada longitud de onda. Si se empleara luz polarizada “blanca”, cada longitud de onda experimentaría un ángulo de rotación diferente, fenómeno denominado *dispersión rotatoria*.

El polarímetro que muestra la fotografía anterior permite elegir entre seis longitudes de onda diferentes. La variación de la rotación óptica en función de la longitud de onda, suministra información de mucho valor cuando se investiga la estructura molecular de una sustancia.

El valor de la rotación también depende de la *temperatura*, por lo que las medidas se estandarizan en general a 20° C.



Cada sustancia ópticamente activa se caracteriza por una determinada *rotación específica*  $[\alpha]$  que se define como:

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l c}$$

donde  $\alpha$  es la *rotación* (en grados) medida en el polarímetro,  $l$  es la *longitud del tubo* con la muestra (en decímetros), y  $c$  es la *concentración* (gramos de soluto en 100mL de solución).

Si se trata de un líquido puro,  $c$  se sustituye por la *densidad*.

La *longitud de onda*  $\lambda$  de la luz del polarímetro y la *temperatura* de trabajo se especifican como subíndice y superíndice respectivamente.

Los polarímetros más sencillos utilizan en general una lámpara de vapor de sodio; línea amarilla D correspondiente a 589 nm.

También se debe indicar el *solvente* empleado.

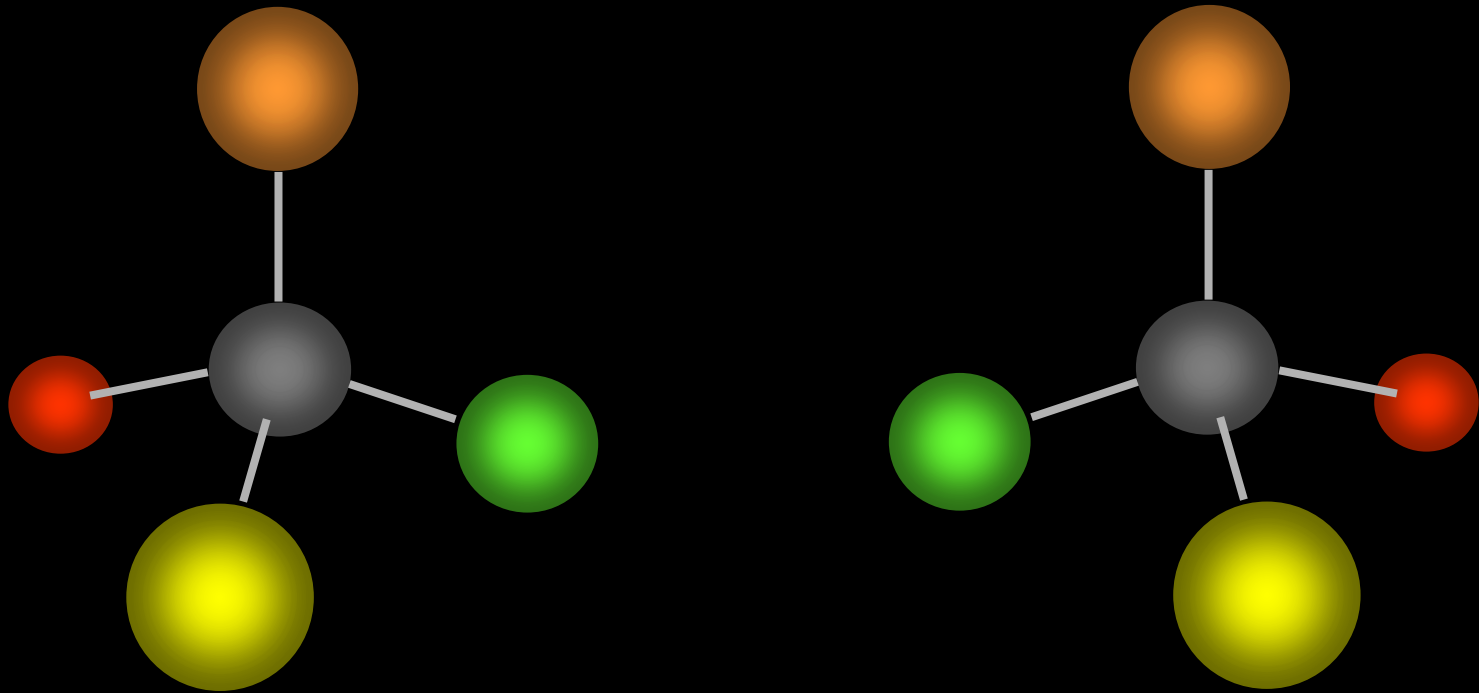
La *rotación específica* es una propiedad *característica* como el punto de fusión, el punto de ebullición, etc.



## Actividades:

- 1) Construir una (o más) diapositivas que expliquen cómo funciona un *polarímetro*.
- 2) Contruir una (o más) diapositivas sobre las aplicaciones del análisis *polarimétrico*.  
(En la investigación, en la industria, etc.)





Debido a que los **enantiómeros** son isómeros con *igual estructura pero configuración opuesta*, producen **el mismo ángulo de rotación** del plano de polarización de la luz, pero **en sentido contrario...**





Si producen la rotación del plano de polarización de la luz en el sentido contrario, se les llama sustancias ***levógiras*** (giro hacia la izquierda).

Las sustancias que hacen rotar el plano de polarización de la luz en el sentido en que se mueven las agujas del reloj, se dice que son sustancias ***dextrógiras*** (giro hacia la derecha).

Para nombrar a los enantiómeros

se escribe el signo (-)  
antes del nombre del compuesto *levógiro*

y el signo (+)  
antes del nombre del compuesto *dextrógiro*

Por ejemplo:

**(-) ácido láctico**  
se lee **ácido láctico *levógiro***

**(+) ácido láctico**  
se lee **ácido láctico *dextrógiro***

El ácido láctico que se forma durante la contracción muscular es dextrógiro.

El producido a partir de la *lactosa* de la leche por acción de microorganismos, puede ser levógiro o dextrógiro, *según el microorganismo* que lo produzca.





Los enantiómeros tienen iguales propiedades físicas y químicas, excepto:

- a) su acción sobre la luz polarizada (siendo diferente el sentido de la rotación pero igual el valor del ángulo),
- b) si reaccionan con otro compuesto ópticamente activo...

Por ejemplo: en los procesos fisiológicos pueden observarse diferencias entre los enantiómeros; éstas se deben a que en el organismo reaccionan con enzimas, cuyas moléculas también son quirales...



## Algunos ejemplos de diferencias ...

La (+) leucina es dulce, mientras que la (-) leucina es ligeramente amarga.

La (-) adrenalina (hormona suprarrenal), tiene una acción vasopresora (vasoconstrictora) veinte veces superior a la (+) adrenalina (sintética).

La (+) nicotina, sustancia sintetizada en el laboratorio, es mucho menos tóxica que la (-) nicotina, presente en la hoja del tabaco.

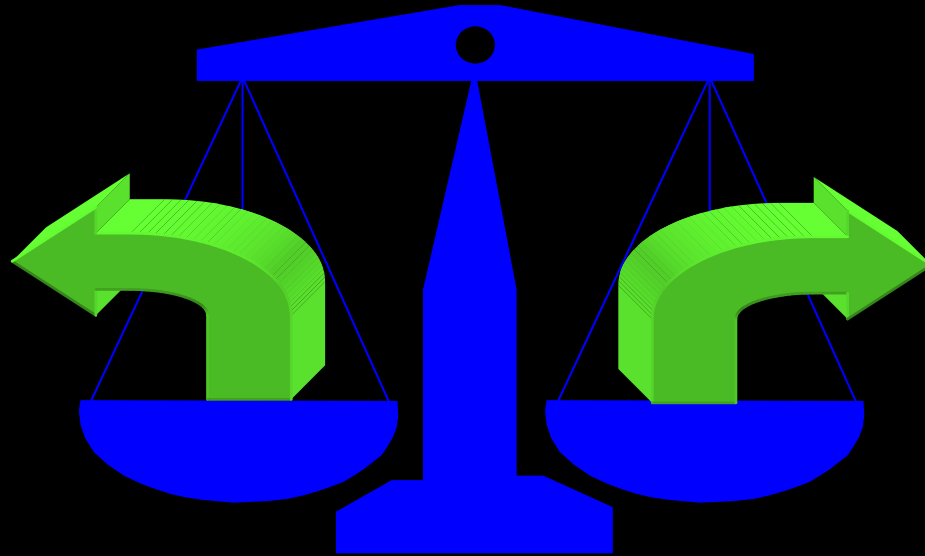


# Pregunta:

Si tenemos una mezcla formada por *iguales cantidades de ambos enantiómeros* de una determinada sustancia, ¿qué efecto producirá esta mezcla sobre la luz polarizada?



No se desviará el plano de la luz polarizada,  
debido a que los efectos *levógiro* y *dextrógiro*  
se contrarrestarán...



(-) ácido láctico

(+) ácido láctico



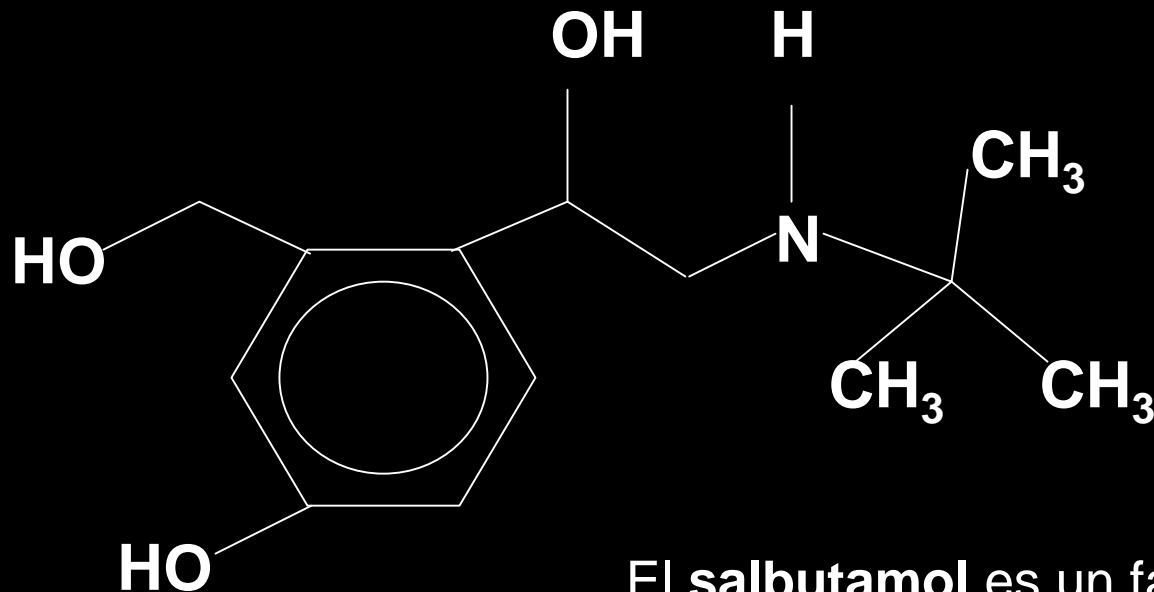


La mezcla ópticamente *inactiva* formada por ambos enantiómeros en iguales cantidades se denomina ***mezcla racémica***.

Cuando en el laboratorio se sintetiza un compuesto quiral, se obtiene normalmente una mezcla racémica, debido a que *es igual la probabilidad de que se formen ambas configuraciones*.

El proceso de síntesis en el que se trata de obtener exclusivamente *uno* de los enantiómeros, se llama ***síntesis asimétrica***.





El **salbutamol** es un fármaco ampliamente utilizado en el tratamiento de las crisis de asma y broncoespasmo. En Uruguay se vende con el nombre comercial de *Ventolin*.

La molécula de salbutamol tiene un centro quiral, por lo que existen dos enantiómeros. Solamente uno de ellos presenta acción farmacológica: el R-salbutamol. La obtención de este isómero puro puede realizarse por métodos alternativos, por ejemplo:

- 1) a partir de la *mezcla racémica* obtenida por síntesis, se aísla el isómero *R*.
- 2) se puede realizar directamente la *síntesis asimétrica* del R-salbutamol, empleando catalizadores quirales.



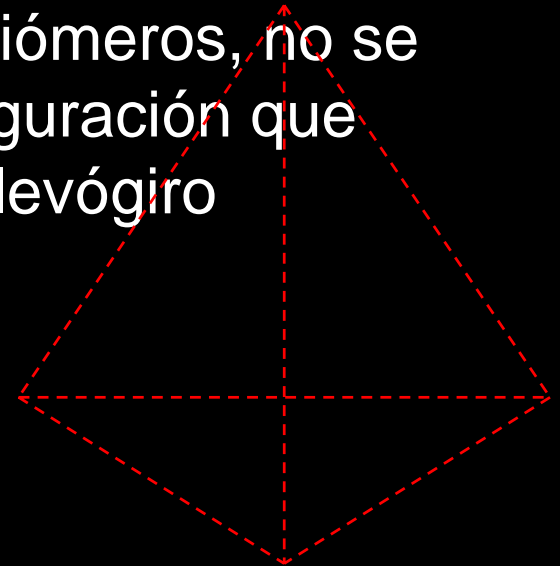
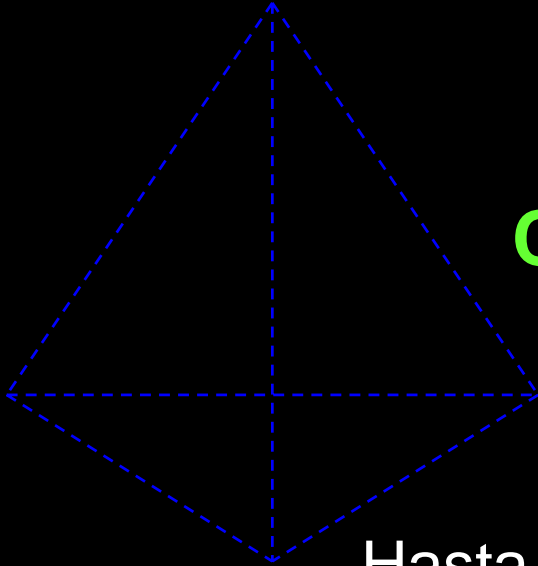
# Pregunta:

¿Cuál es el centro quiral en la molécula de salbutamol?  
Marcarlo.



## Configuración absoluta de las moléculas...

Hasta 1951 no fue posible determinar la configuración *real* o *absoluta* de una molécula. Es decir que, dado un par de enantiómeros, no se sabía realmente cuál era la configuración que correspondía al compuesto levógiro y cuál al dextrógiro.

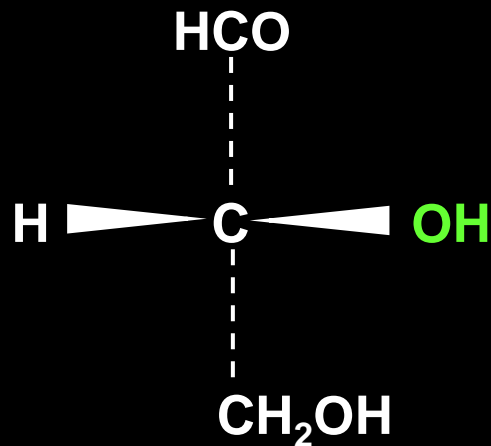


Desde principios del siglo XX, se había asignado a los compuestos ópticamente activos una configuración *relativa*, y por lo tanto arbitraria, vinculándolos químicamente a un compuesto de referencia.

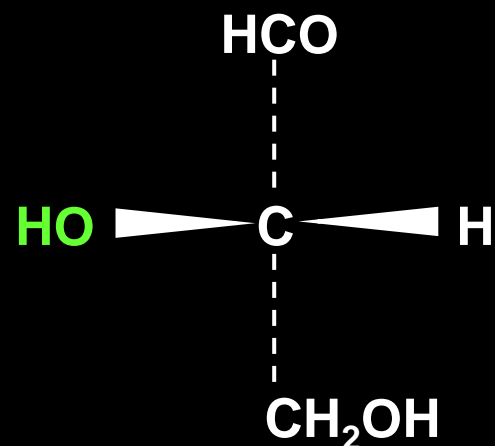
Las series *estereoquímicas*  
-del griego, *estereo*, que significa *espacial*-  
fueron creadas tomando como referencia  
**el aldehído glicérico...**

Así fue que los compuestos ópticamente activos se clasificaron según su configuración, en dos series, llamadas serie **D** y serie **L** (*de y ele*), *sin relación con el sentido de la rotación óptica.*





**D (+) aldehído glicérico**

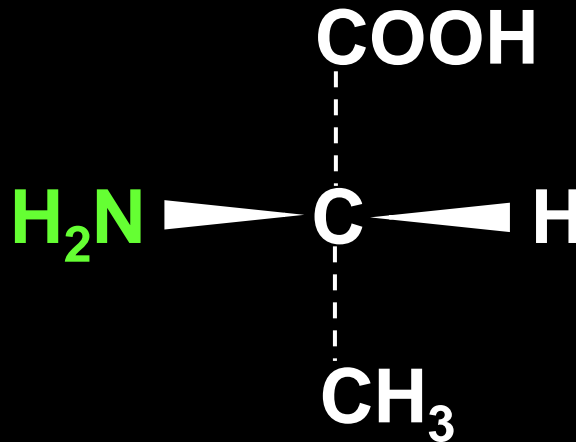


**L (-) aldehído glicérico**

Formulando arriba el grupo carbonilo y abajo el grupo hidroximetilo, ambos por detrás del plano (líneas punteadas del enlace), el enantiómero con el grupo oxhidrilo a la derecha y hacia adelante del plano (representación triangular del enlace), *sería arbitrariamente el D (+) aldehído glicérico.*

Con el oxhidrilo a la izquierda *sería el L (-) aldehído glicérico.* Esta decisión arbitraria tenía obviamente un 50% de probabilidad de ser correcta. En 1951 se comprobó (grata sorpresa) que la configuración de dichas moléculas era realmente ésta...





**L (+) alanina**

La casi totalidad de los  $\alpha$ -aminoácidos que forman las proteínas, presentan *la misma configuración*: pertenecen a la serie **L**, *independientemente de que sean levógiros o dextrógiros*. Significa que, formulando el grupo carboxilo arriba, y el grupo *alquilo* abajo (ambos por detrás del plano), el grupo amino (hacia adelante) se encuentra a la izquierda.



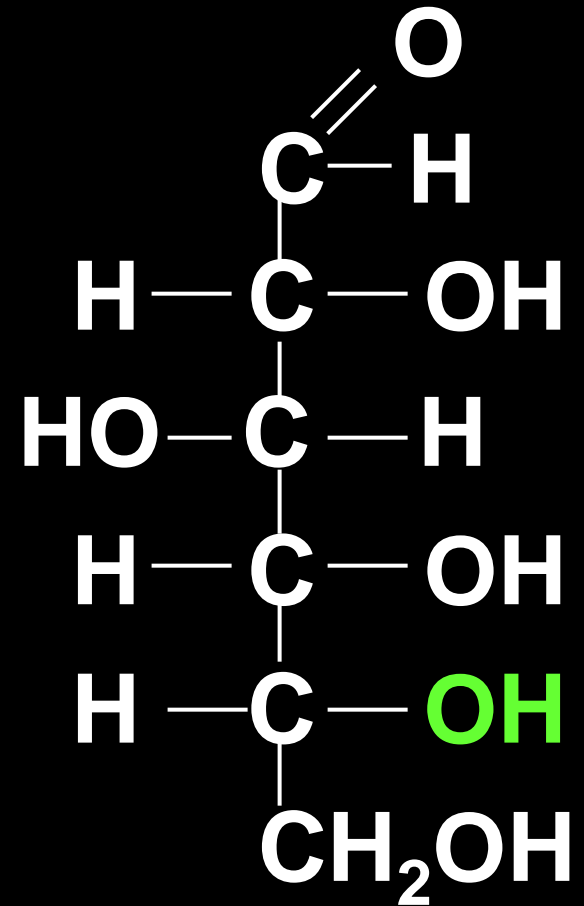


El único tipo de glucosa que sintetizan las plantas y que se encuentra en nuestro organismo, es la **D (+)** glucosa.

Debido a que es dextrógira, el suero fisiológico glucosado, por ejemplo, se etiqueta “Dextrosa al 5%”.

Se puede representar a la glucosa mediante la fórmula de cadena abierta, más sencilla que la fórmula cíclica, pero que sólo representa a un bajo porcentaje de moléculas de glucosa en solución acuosa.

El grupo oxhidrilo a la derecha del C-5, caracteriza a las **hexosas** de la serie **D**.



**D (+)** glucosa



# Pregunta:

¿Cuántos centros quirales  
se encuentran en la molécula de glucosa  
si la representamos con la fórmula de cadena abierta?

*Marcarlos usando el puntero del ratón  
como marcador de color.*

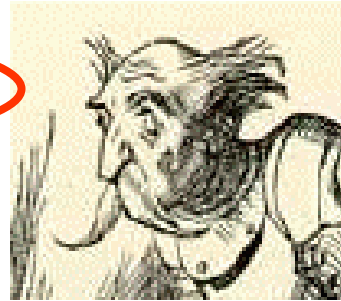


Un nuevo criterio para asignar la configuración, que utiliza las letras **R** y **S** (por *Rectus* y *Sinister*), evita la ambigüedad de las letras D y L.

Pero sobre todo en el estudio de los glúcidos y los aminoácidos, los químicos siguen empleando aún las series “históricas” D y L.



*And now, if e'er by chance I put  
My fingers into glue,  
Or madly squeeze a right-hand foot  
Into a left-hand shoe,  
Or if I drop upon my toe  
A very heavy weight,  
I weep, for it reminds me so  
Of that old man I used to know --  
Whose look was mild, whose speech was slow,  
Whose hair was whiter than the snow,*



*Whose face was very like a crow,  
With eyes, like cinders, all aglow,  
Who seemed distracted with his woe,  
Who rocked his body to and fro,  
And muttered mumblingly and low,  
As if his mouth were full of dough,  
That summer evening long ago  
A sitting on a gate"*



*“O si insensatamente  
fuerzo el pie derecho  
dentro de un zapato  
izquierdo...”*

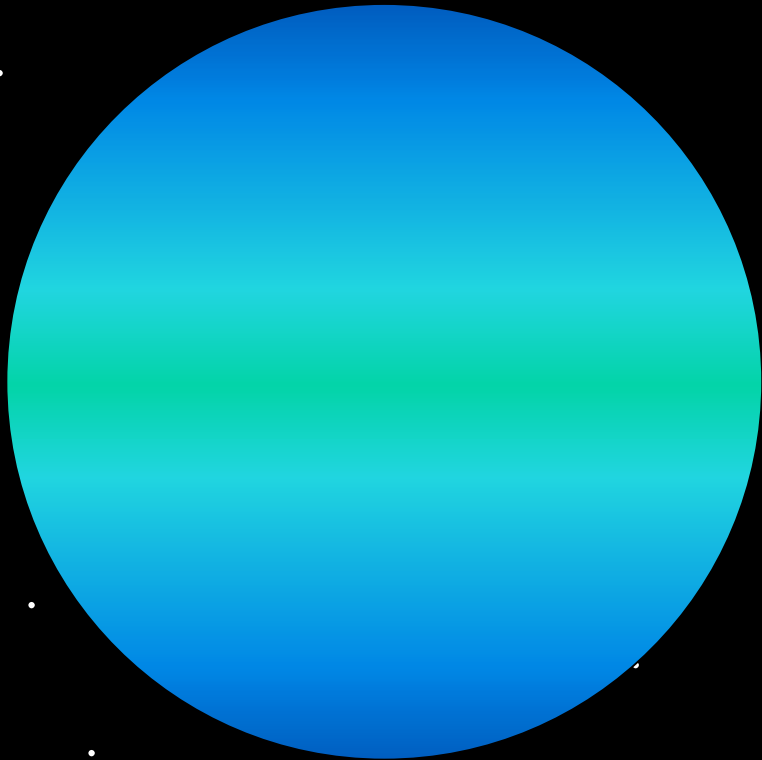
*...dice la canción que  
el Caballero Blanco  
le canta a Alicia en  
A través del espejo.*





-¿Te gustaría  
vivir en la casa  
del espejo,  
gatito?

Me pregunto si  
te darían leche  
allí; pero a lo  
mejor la leche  
del espejo no es  
buena para  
beber...

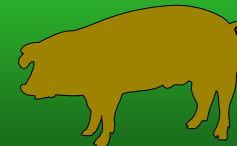
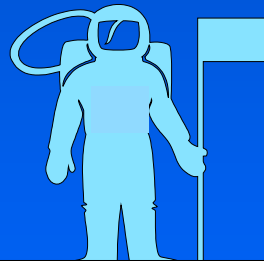
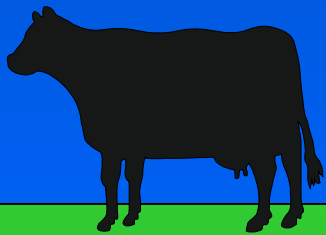


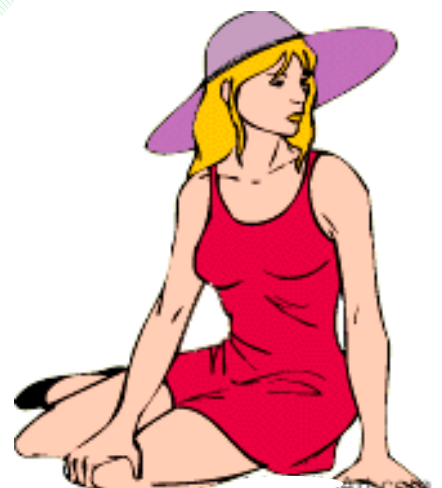
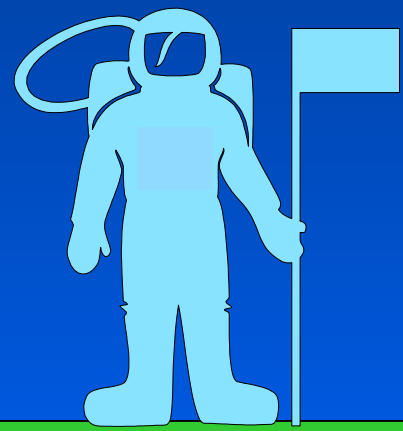
¿Qué sucedería si llegáramos a un planeta en el que, aparentemente, todo es igual a la Tierra, y sin embargo, todas las moléculas quirales de ese planeta son “opuestas” a las nuestras?

Podríamos respirar el oxígeno, y beber el agua, dado que sus moléculas no son quirales...

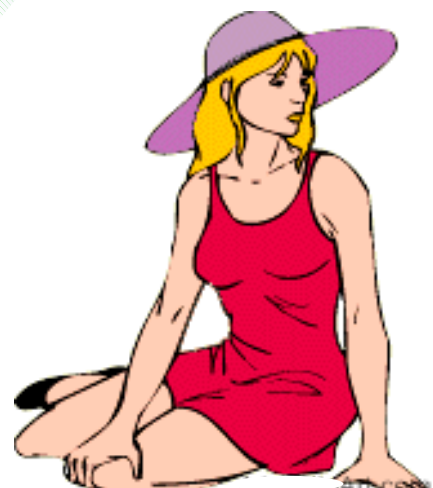
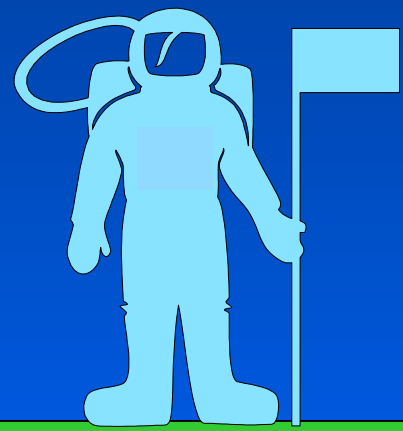
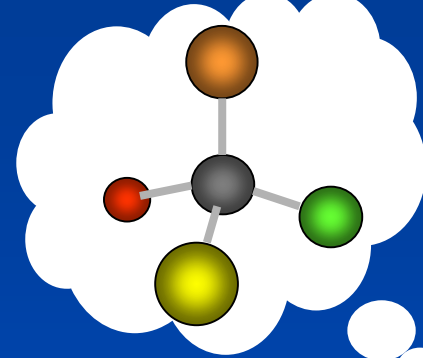
Pero si las frutas en vez de tener **D (+)** glucosa, contuvieran solamente **L (-)** glucosa; y las proteínas estuvieran integradas solamente por  $\alpha$ -aminoácidos de la serie **D**, en lugar de  $\alpha$ -aminoácidos de la serie **L**, nuestro organismo no podría metabolizar estas sustancias y no podríamos sobrevivir...

Sólo podríamos alimentarnos de los animales y vegetales de un planeta donde la quiralidad de las moléculas fuera idéntica a la de nuestras moléculas...









Miles de compuestos del carbono que integran nuestro organismo, están formados por moléculas quirales.

Por qué nuestra sangre, las frutas y plantas contienen **D (+)** glucosa y no **L (-)** glucosa?

¿Por qué nuestras proteínas, las de los animales y plantas, están formadas por **L**  $\alpha$ -aminoácidos y no por sus enantiómeros?

¿Por qué la vida se desarrolló “asimétricamente” en nuestro planeta, a partir de moléculas fundamentales que tenían *una* de las configuraciones y no la otra, o ambas?

No sabemos las respuestas a estas preguntas, porque no conocemos realmente cómo comenzó la vida en la Tierra...









*Contrapunto XII (Rectus) de El Arte de la Fuga*, de Johann Sebastian Bach,  
cuarteto de Ken Davies

*De cartón piedra*, Joan Manuel Serrat

*Minué y Rondó alla Turca*, de Mozart

*As long as you love me*, Backstreet Boys

*Ondas del Danubio*, de Ivanovici.

Los efectos especiales de sonido fueron seleccionados del CD *Sounds and Music*, cortesía de las Profesoras Rosa Scavone y Olga Ferro. Agradecemos también a

Horacio Lahore.

Fotografías tomadas por el *Hubble Space Telescope*:

- 1) Masas de gas y polvo, de varios años-luz de extensión, en cuyo interior se están formando estrellas, en la Nebulosa del Águila.
- 2) Restos de la explosión de una supernova en la constelación del Cisne, en falsos colores (azul: nubes de oxígeno; rojo: hidrógeno; amarillo: azufre).

El excelente libro de Martin Gardner *El Universo ambidiestro* inspiró varias partes de este trabajo.

Fotografías de la parte final: Atardecer en Mercedes (A. Lahore).

Fin de la segunda parte