

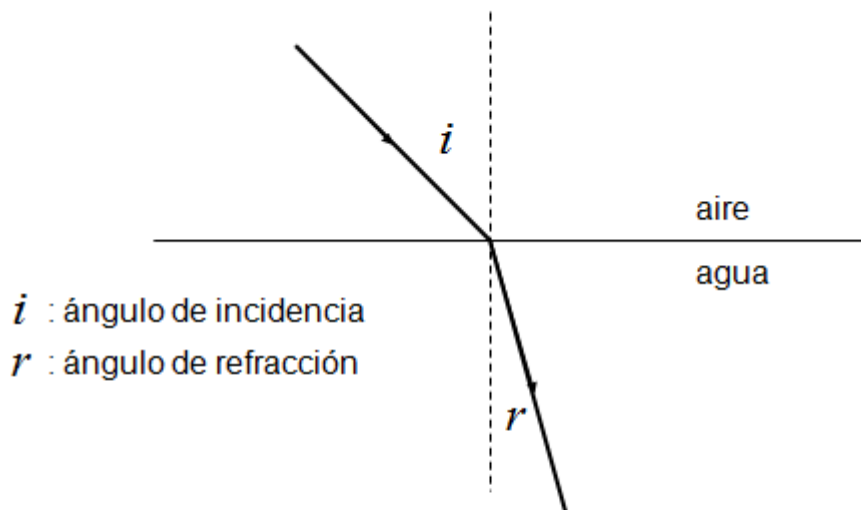
# El arcoíris



Este fenómeno de la naturaleza nos acompaña desde la infancia. En un día de lluvia donde además está presente el sol, se confabulan la luz del sol con las gotas de agua para que nuestros ojos perciban el efecto de la refracción y reflexión de la luz en las gotas de agua. Efecto que, acompañado de la óptica geométrica, nos permite ver un arco de siete colores. Este arco en la realidad no existe, es una construcción ficticia producto de la óptica geométrica, que toma en cuenta nuestra ubicación, la posición del sol y la de las gotas de lluvia.

No tiene sentido caminar hacia sus extremos en busca de oro. Tampoco tiene sentido tratar de pasar debajo de él.

Para explicar este fenómeno empezamos recordando la ley de la refracción de la luz en el agua



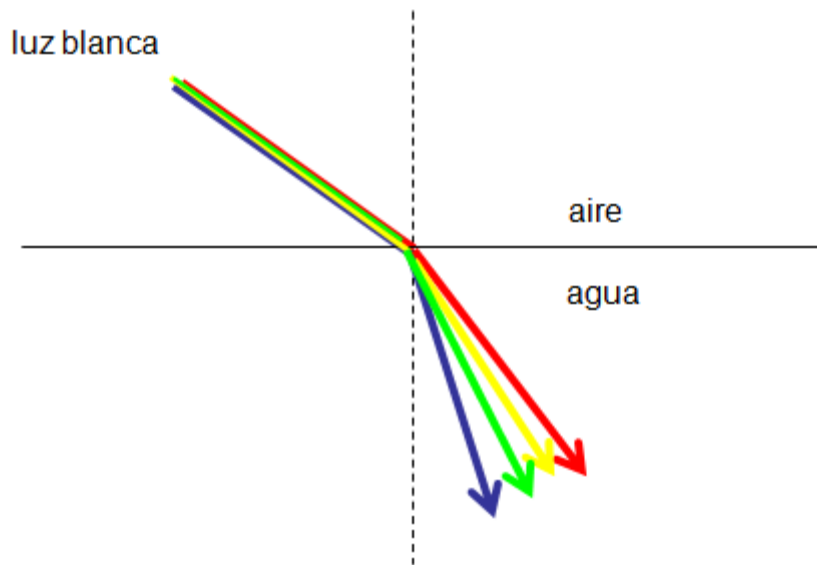
Índice de refracción del agua

$$n = \frac{c}{v} \approx 1,33$$

$c$  = velocidad de la luz en el vacío (aire)

$v$  = velocidad de la luz en el agua

El ángulo de refracción  $r$  depende de la longitud de onda del rayo incidente.

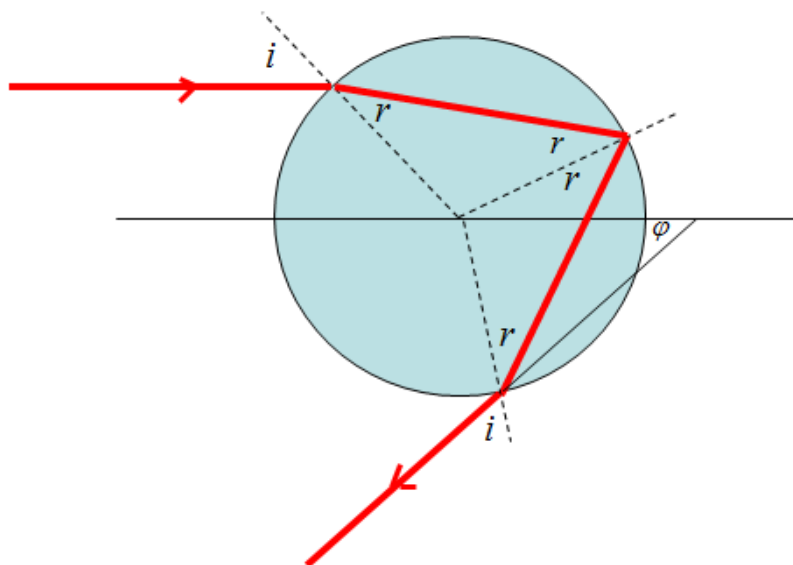


El color azul se refracta más que el rojo, el verde y el amarillo al pasar del aire al agua.

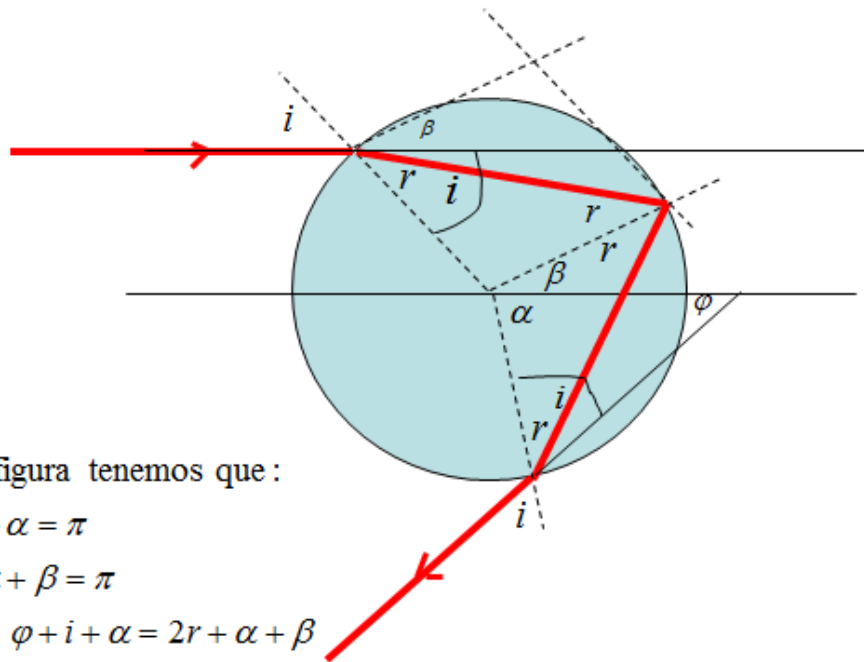
Consideremos un rayo de luz roja incidiendo sobre una gota de agua.

El rayo se refracta al entrar en la gota, luego se refleja en su interior y finalmente se refracta al salir, cumpliendo la ley de Snell  $\sin i = 1,33 \sin r$

Esto lo podemos representar mediante el siguiente esquema:



Es fácil demostrar que entre los ángulos de la figura se cumple la siguiente relación:  $\varphi = 4r - 2i$



De la figura tenemos que :

$$\varphi + i + \alpha = \pi$$

$$2r + \alpha + \beta = \pi$$

o sea:  $\varphi + i + \alpha = 2r + \alpha + \beta$

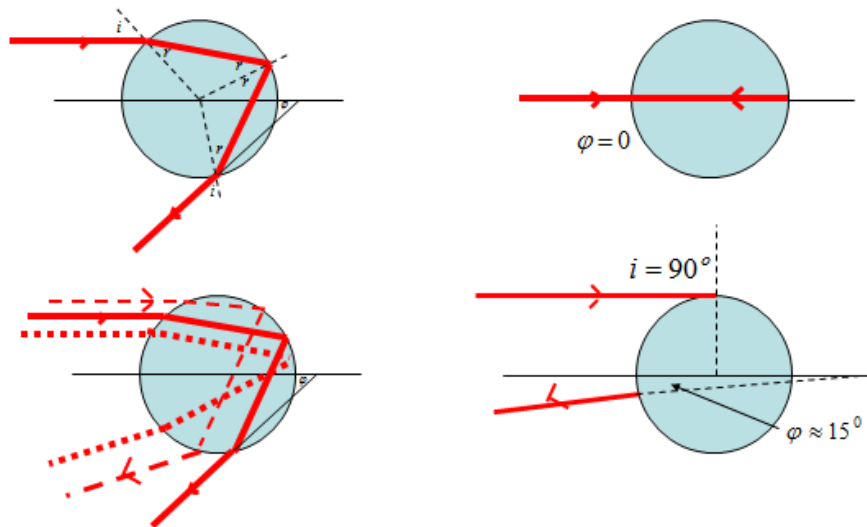
es decir,  $\varphi = 2r + \beta - i$

pero  $i + \beta = 2r \Rightarrow \beta = 2r - i$

luego :

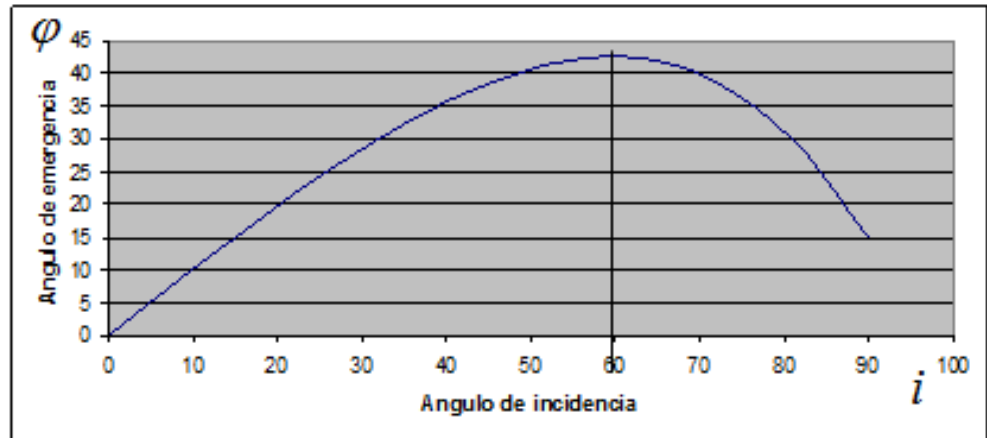
$$\varphi = 2r + \beta - i = 2r + 2r - i - i = 4r - 2i$$

El ángulo  $\varphi$  representa la dirección con la que sale el rayo luego de atravesar la gota. Es claro que depende del lugar de la superficie de la gota donde el rayo incide

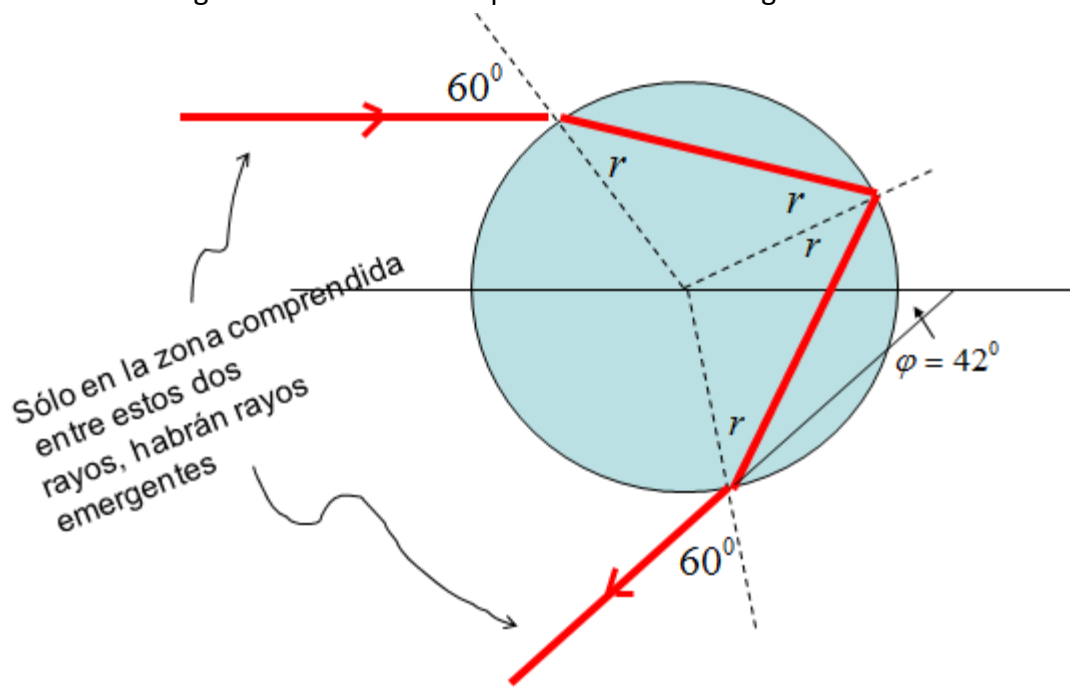


La Ley de Snell  $\sin i = 1,33 \sin r$  (luz roja  $n=1,33$ ) y la relación  $\varphi = 4r - 2i$  permiten calcular el ángulo con el que sale el rayo rojo de la gota en función del ángulo con el que entra en ella respecto a su superficie, para la luz roja:

$i$	$\varphi$
0	0
9	9,01904
18	17,74035
27	25,83566
36	32,91186
45	38,47049
54	41,86189
63	42,24644
72	38,59885
81	29,82097
90	15,01341



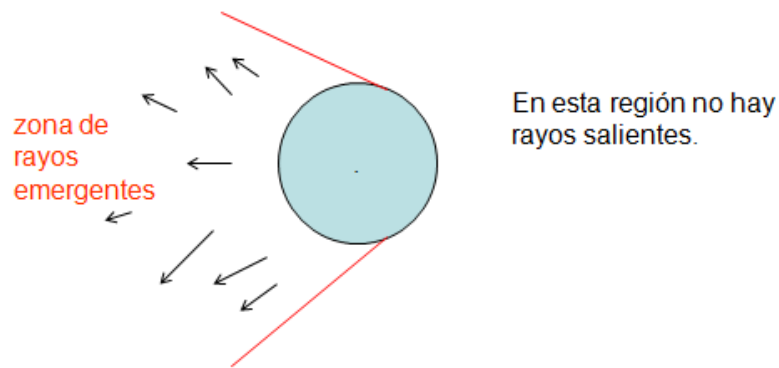
Del gráfico anterior es claro que existe un  $\varphi$  máximo aproximadamente igual a 42 grados, correspondiente a un ángulo de incidencia de aproximadamente 60 grados.



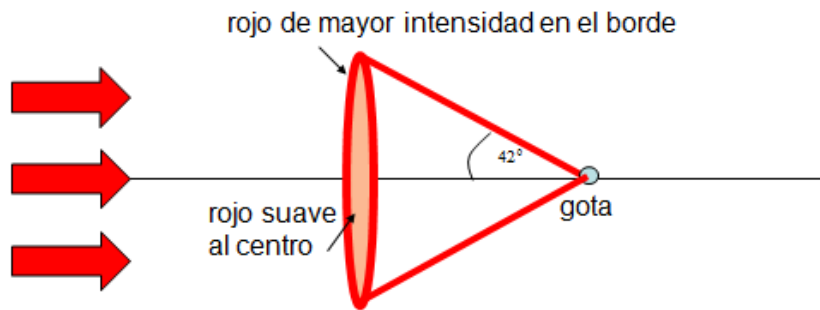
Si los rayos entrantes se representan por



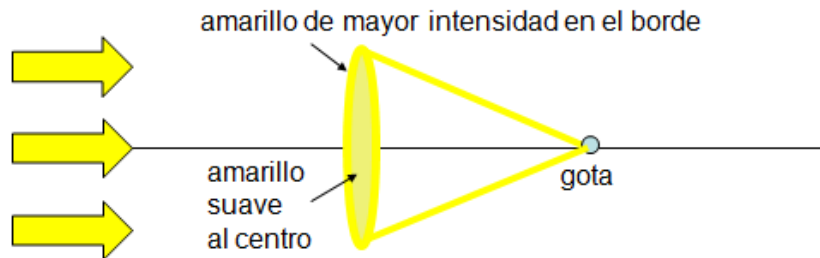
los rayos emergentes se encontrarán todos dentro de la región entre las líneas rojas del siguiente esquema:



En tres dimensiones:

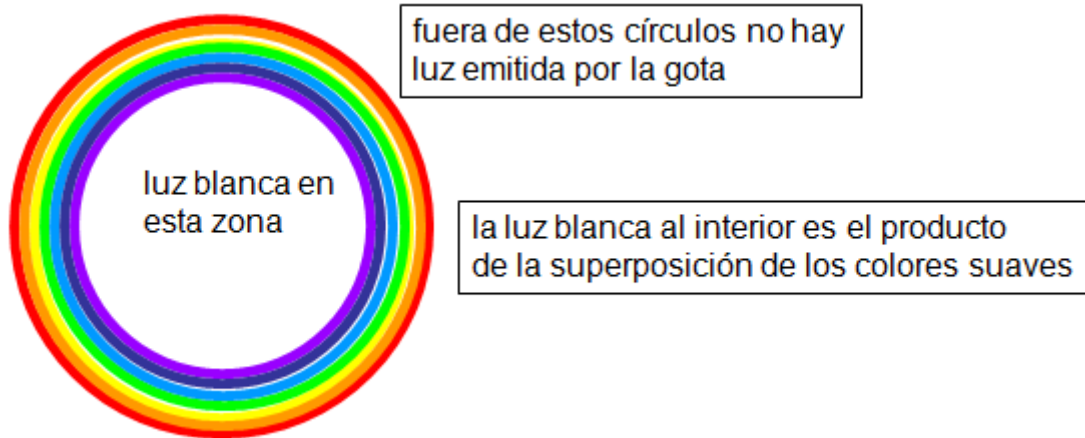


Repitiendo lo anterior para otros colores se obtiene lo mismo pero ahora el ángulo  $\varphi$  es menor por ejemplo, para el amarillo:



Y lo mismo para otros colores.

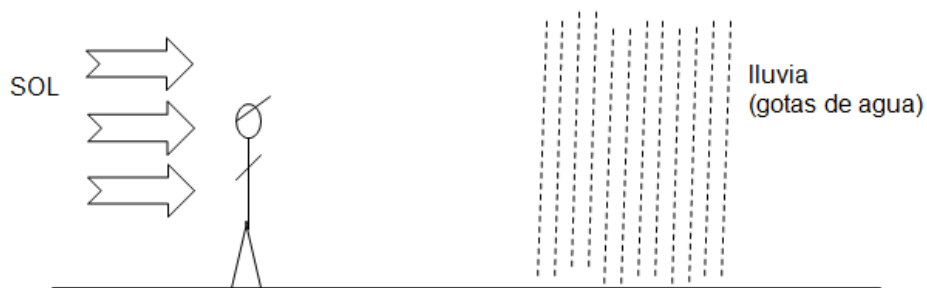
La luz blanca está compuesta por una superposición de colores, de manera que cuando incide sobre una gota de agua lo que se ve es, si miramos frontalmente:



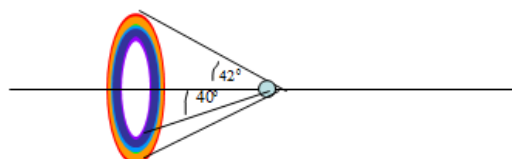
Son los siete colores que nuestra capacidad visual permite distinguir entre los colores que salen de la gota. De hecho son más de siete.

Explicaremos ahora la formación del arcoíris. Este arco aparece cuando en un día de lluvia miramos hacia el lugar donde llueve teniendo el sol a nuestras espaldas.

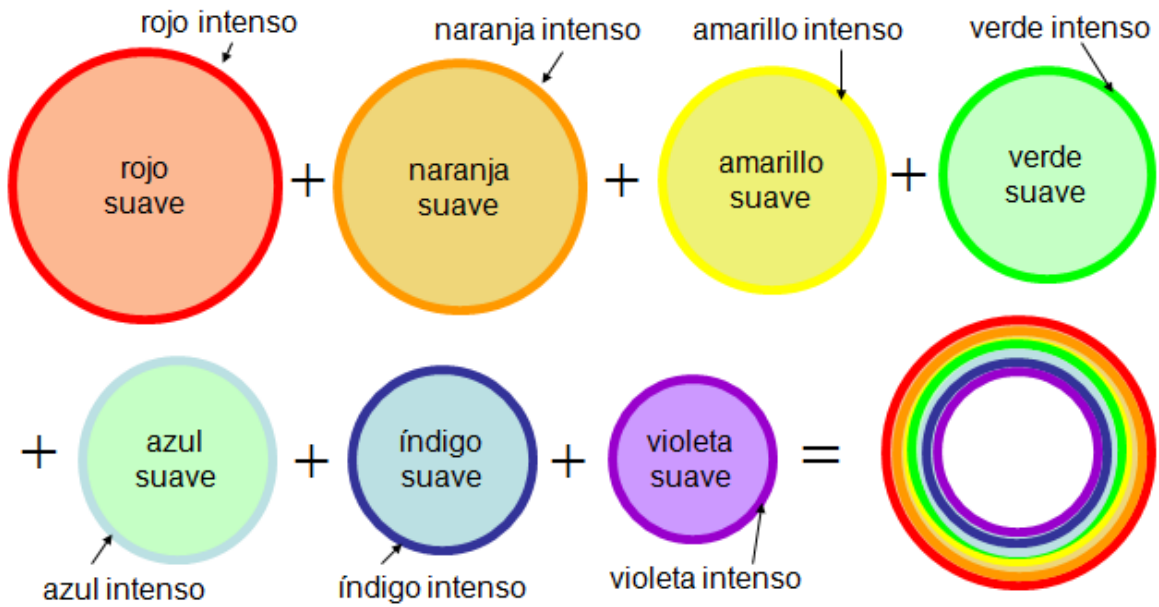
Es importante señalar que es una visión nuestra.



Cada gota emite un cono de luz luego que la luz blanca del sol penetra en ella:

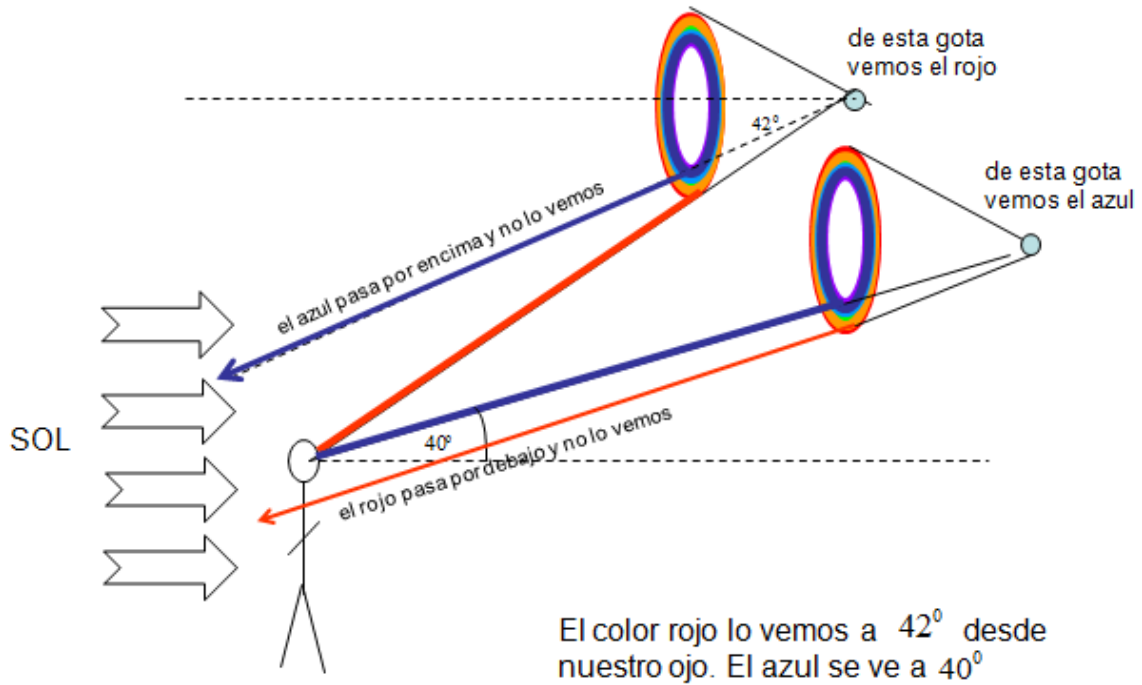


De cada gota de agua emergen arcos de distintos colores



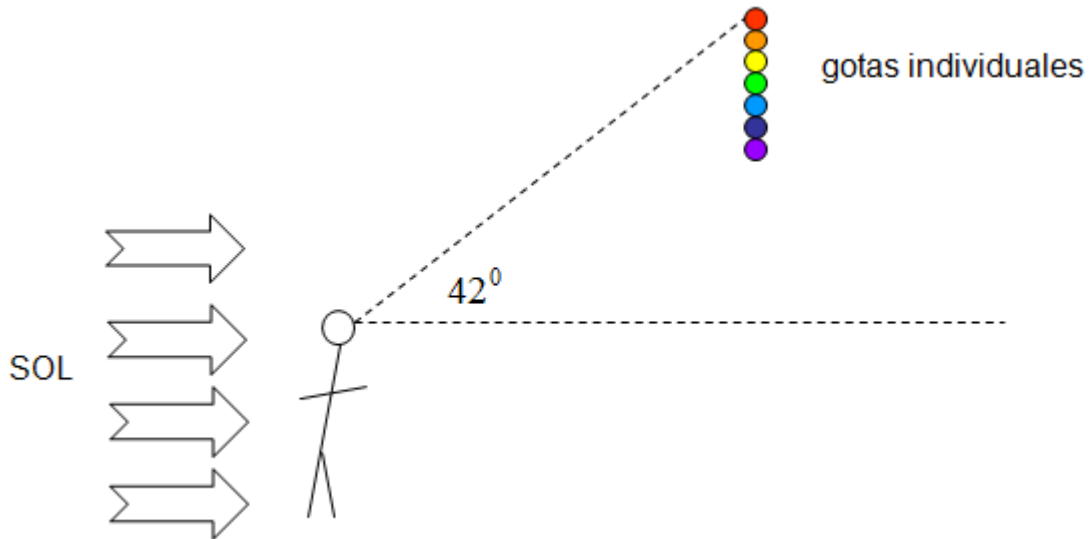
Donde los hemos superpuesto para obtener el resultado de la derecha. La suma de todos los colores da el blanco del centro.

Dependiendo de donde se encuentre la gota de lluvia veremos el color que emite:

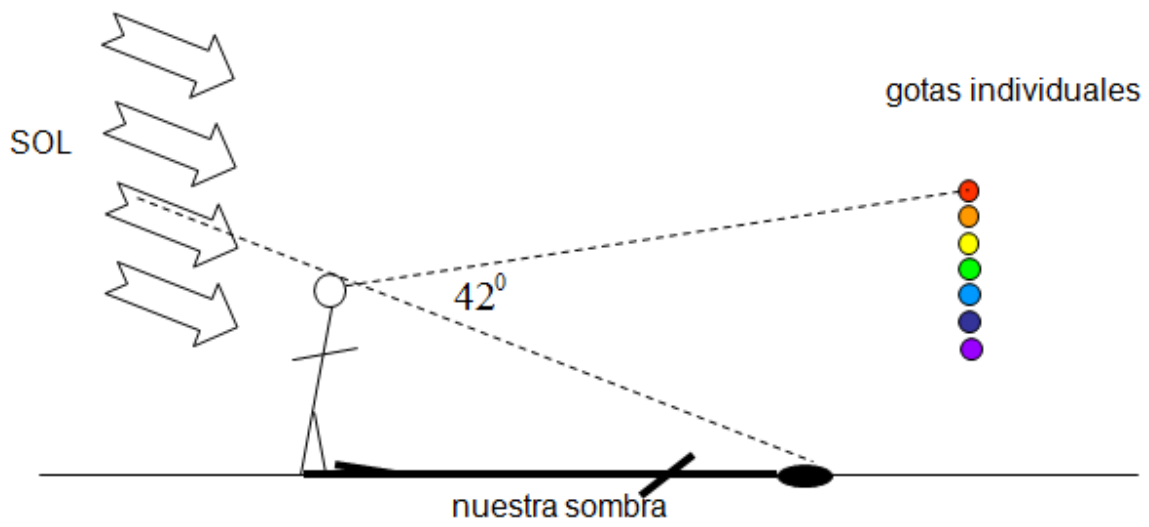


Análogamente para los otros colores.

De este modo podemos representar el arcoíris que ve nuestro cerebro mediante el siguiente esquema:



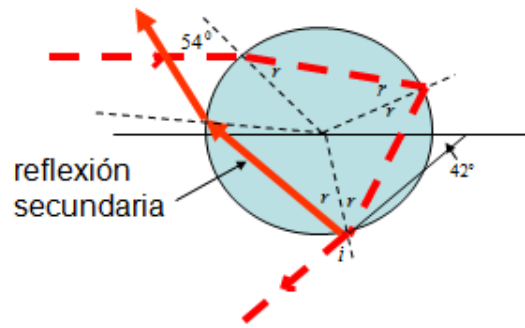
Ahora bien, los rayos de sol llegan desde más arriba. En tal caso el esquema sería:



Una foto extraordinaria de un arcoíris es la siguiente:

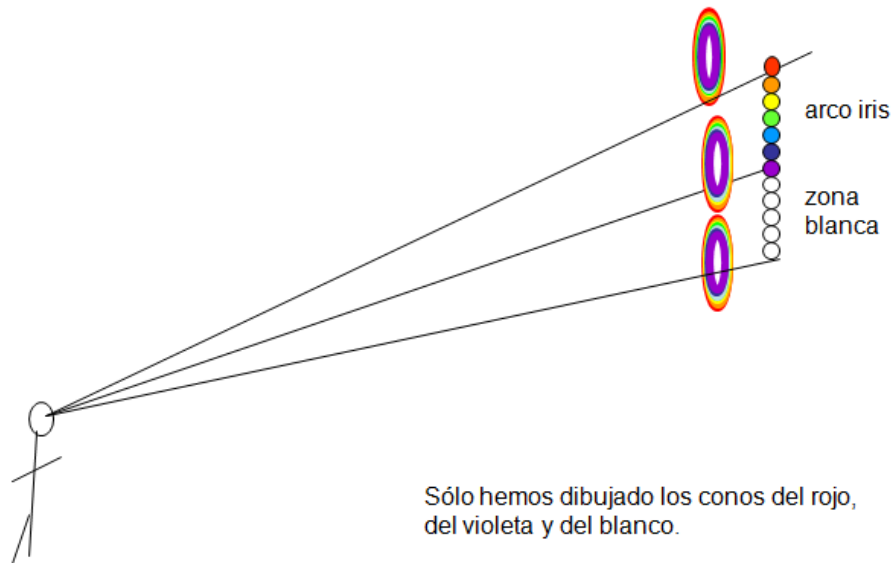


Se aprecia un arcoíris muy luminoso y otro más arriba bastante atenuado y con los colores invertidos.



Esto se debe a que en la gota hay otra reflexión interna del rayo antes de salir de ella:

Apreciamos además que debajo del arco todo se encuentra blanqueado. Esto lo podemos entender con el siguiente esquema:



Finalmente:

