



Física puertas afuera (2ª parte)

**Gerardo Melcher E.
Exprofesor Departamento de Física**

El lector puede encontrar algunos aspectos de la biografía del profesor Gerardo Melcher en la primera parte del artículo en el número 2 de Eureka: Enseñanza de las ciencias físicas. En esta segunda parte del artículo se trata de explicar otros fenómenos que ocurren en la naturaleza, desde un punto de vista físico, tales como los rayitos de las estrellas y las térmicas que se producen en las erupciones volcánicas.

Muchos fenómenos físicos, cuya explicación puede darse en términos sencillo, son observables en la naturaleza, lejos de semáforos reguladores del tránsito y lejos de laboratorios de enseñanza. Son los fenómenos que ocurren "puertas afuera" en el gran laboratorio de la naturaleza. Pleno de equipo un tanto extraño, ese gran laboratorio natural funciona permanentemente y sólo hace falta entrar en él con ojos y oídos abiertos para apreciar la Física estrechamente unida a belleza y armonía. Muchos fenómenos ocurren aquí a una escala imposible de reproducir en un laboratorio científico y por esa razón el dramatismo de diversos fenómenos observados "puertas afuera" no pueden ser imitados en un laboratorio. Otras veces se dan circunstancias muy especiales y pueden observarse efectos que resultan difíciles de imitar.

En estas páginas queremos coleccionar ejemplos del natural con la intención de que los colegas puedan usarlos cuando sea oportuno para ilustrar alguna clase. A fin de cuentas, la Física es el estudio de la naturaleza.

Como estamos en pleno invierno y hace frío por todas partes, he elegido una observación "calurosa". Pero antes debemos aclarar un efecto que quedó planteado en la serie anterior y que es observable en invierno y en verano:



Los rayitos de las estrellas

Mirando estrellas en el cielo nocturno las vemos con rayitos, sin embargo en las fotografías celestes aparecen como simples disquitos.

Desde los tiempos de los antiguos egipcios las estrellas son representadas con 5 o con 6 rayitos. Esto es lo que ve cualquiera persona con visión normal o debidamente corregida, cuando mira una estrella o una fuente luminosa suficientemente pequeña o lejana. Si creemos a la placa fotográfica, las estrellas no tienen rayitos, luego los rayitos deben ser algo que agrega nuestro ojo. Efectivamente es así. Recién en el ojo las estrellas "se convierten en estrellas". Se ha comprobado que personas operadas de cataratas, a quienes se les ha extraído el cristalino, y que usan lentes especiales ven a las estrellas como simples disquitos casi exentos de rayitos. De modo que los rayitos se producen en el cristalino. Estudios histológicos muestran que el cristalino, por cada cara, está compuesto de 3 sectores. Las uniones de estos sectores forman en la superficie anterior una "Y" derecha y en la superficie posterior una "Y" invertida. Las uniones mismas no son perfectamente transparentes y desperdigan luz (efecto denominado scattering) dando lugar a la formación de seis rayitos. A menudo se superpone un brazo de la "Y" anterior con un brazo de la "Y" posterior. Entonces dos rayitos se superponen y se ven sólo cinco.

En ciertas circunstancias es posible obtener fotografías de estrellas con rayos. Para lograrlo hay que sobreexponer la película, es decir exponerla por un tiempo mucho más largo que el normal. Esto se ve a veces en fotografías astronómicas. Las estrellas más brillantes aparecen con rayos. En este caso se trata de difracción producida por diafragmas. Hay una diferencia fundamental entre los rayos por difracción y los rayos producidos por el ojo: Por difracción sólo puede aparecer un número par de rayos. Es imposible obtener 5 rayos por difracción, como ve la mayor parte de la gente.



La violencia de las "térmicas" producida por lava incandescente

En enero de 1961, cuando aún estaba en erupción el volcán Calbuco, me dirigí con mi familia a la región para observar algunos aspectos de la erupción. Una corriente de lava descendía por la ladera Norte del volcán. Seguía el camino trazado por la avalancha de lodo hirviente que semanas antes había llegado hasta el lago Llanquihue sepultando campos y casas. El curso de la corriente de lava lo denunciaba una cortina de humo que comenzaba en el cráter, bajaba por una canaleta en el flanco del cono y se perdía en los bosques que rodeaban el pie del volcán. Cada 10 a 30 minutos se divisaba repentinamente una gran columna de humo que se elevaba verticalmente con gran rapidez hasta alcanzar algunos cientos de metros de altura. Luego adoptaba la forma de una gigantesca coliflor y a los pocos minutos era disipada por el viento.

Algunos obreros camineros despejaban la carretera que va de Puerto Varas a Ensenada. Removían arena y cenizas volcánicas depositadas por la avalancha. Consultado uno de ellos acerca de las columnas de humo que emergían del bosque, declaró: "*Gente que anduvo arriba, dice que son piedras que caen. Para mí, que es un volcán nuevo que se está formando*".

Al día siguiente subí hasta la corriente de lava. Todo estaba cubierto con ceniza volcánica proveniente del cráter del Calbuco, pero ningún volcán nuevo estaba naciendo. La corriente de lava, de aspecto oscuro a la luz del sol, avanzaba muy lentamente como una montaña plástica, quemando plantas y árboles que encontraba a su paso. A ratos se desprendían grandes trozos de lava que rodaban cerro abajo como bolas de fuego, dejando en



la corriente de lava una tremenda herida de color rojo. La lava incandescente, como una hoguera inmensa, producía entonces una terrible corriente ascendente de aire caliente que succionaba con violencia ceniza de los alrededores, tornándose obscura y amenazadora. A pesar de encontrarnos a unos 50 m de la corriente, la succión creaba un viento que me obligaba a agacharme para no caer. Jamás imaginé, que una corriente ascendente de aire caliente pudiese producir corriente afluentes tan violentas.

Resulta interesante calcular que aceleraciones y qué velocidades pueden producirse en una corriente ascendente de aire calentada por lava incandescente. Para simplificar al máximo los cálculos, reduzcamos la observación a sus términos más simples: Un foco de calor a una temperatura de unos 1000 °C calienta el aire hasta unos 700 °C. El aire caliente asciende por ser más liviano que el aire frío que lo rodea.

Es un problema de empuje en gases. La fuerza de empuje la da el Principio de Arquímedes aplicado a gases.

Considerando una burbuja de aire caliente alojada en aire frío. La fuerza de empuje, que se aplica en esa burbuja, es igual al peso de la cantidad de aire frío que desaloja (Arquímedes). Sean, V el volumen de la burbuja de aire caliente, ρ_a la densidad del aire frío y g la aceleración de gravedad. El peso P de la cantidad de aire frío desalojada es

$$P = |F_{\text{empuje}}| = V \rho_a g \quad (\rho_a = \text{densidad del aire frío}).$$



Aparte de la fuerza de empuje hay otras fuerzas en juego. Está el peso de la burbuja de aire caliente, P_b , que debe ser restado de la fuerza de empuje para obtener la fuerza neta que acelera a la burbuja:

$$P_b = V \rho_b g \quad (\rho_b = \text{densidad del aire de la burbuja}).$$

La fuerza neta que inicialmente acelera a la burbuja hacia arriba es entonces

$$F_{\text{neta}} = F_{\text{empuje}} - P_b = V g (\rho_a - \rho_b).$$

De acuerdo con la Segunda Ley de Newton, la aceleración a de la burbuja es

$$a = \frac{F}{m} = \frac{F_{\text{neta}}}{m_b} = \frac{V g (\rho_a - \rho_b)}{V \rho_b} = g \left(\frac{\rho_a}{\rho_b} - 1 \right) \quad (1)$$

$$(m_b = \text{masa de la burbuja} = V \rho_b)$$

Calculemos la razón de las densidades. El aire se comporta como un gas ideal, luego rige la ecuación de estado para gases ideales: $p V = M R T_{\text{abs}}$

Dividiendo por V y tomando en cuenta que $\rho = \frac{M}{V}$, queda $p = \rho R T_{\text{abs}}$

(R = constante de los gases, T_{abs} = temperatura absoluta o termodinámica).

La presión es igual para el aire frío y para el aire de la burbuja caliente. Esto nos permite escribir $\rho_a R T_a = \rho_b R T_b$

(subíndices a para el aire frío y subíndices b para la burbuja). Resulta

$$\frac{\rho_a}{\rho_b} = \frac{T_b}{T_a}$$

Supongamos que la temperatura del aire frío es de 300 K (27 °C) a la del aire caliente de la burbuja de 1000 K (727 °C). La razón de temperaturas es entonces $\frac{1000 \text{ K}}{300 \text{ K}} = \frac{10}{3}$

Esa es a la vez la razón de densidades. Substituyendo en (1) obtenemos para la aceleración

$$a = g (10/3 - 1) = 2,3 g$$

Resulta una aceleración enorme. Si se mantiene esta aceleración durante 10 segundos, la velocidad que adquiere el aire ascendente es:

$$v = a t = 2,3 \cdot (10 \text{ m/s}^2) \cdot 10 \text{ s} = 230 \text{ m/s.}$$

Esto equivale a 828 km/h.

Es seguro que el aire no alcanza esas velocidades. Hemos despreciado el roce viscoso con el aire, las turbulencias que se forman, además, cuando el aire se carga con ceniza, su densidad aumenta y quizás, el efecto que más frena a la corriente ascendente sea la succión que produce el ascenso del aire.

En todo caso, el cálculo da una idea del orden de magnitud de aceleraciones y de velocidades en este fenómeno de las "térmicas" volcánicas.

* Fotografías de la erupción del volcán Calbuco, 1961, del libro "Volcanes de Chile" de O. González-Ferrán.