

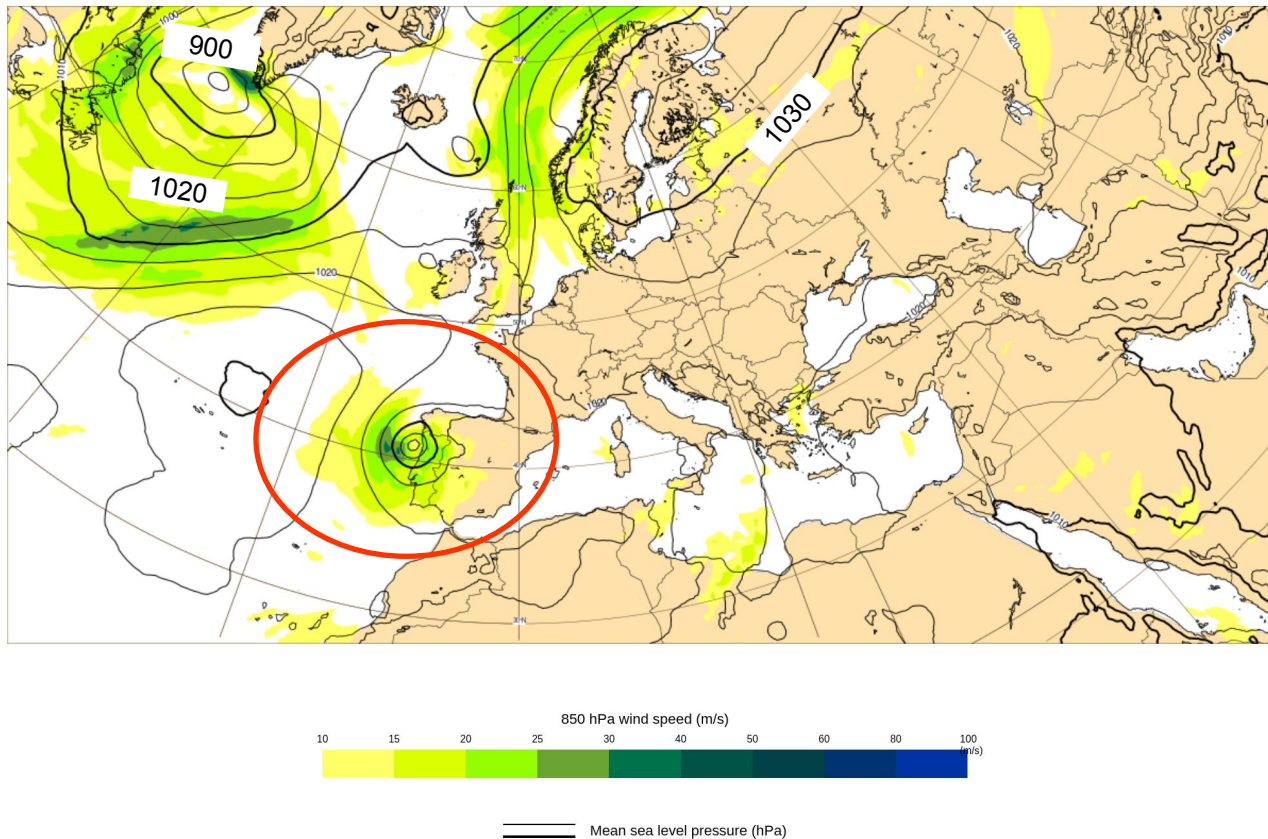
“El saber no es un don, sino una laboriosa conquista”

Nucio Ordine, comentando el Banquete de Platón.
2017. *Clásicos para la vida*, p.66

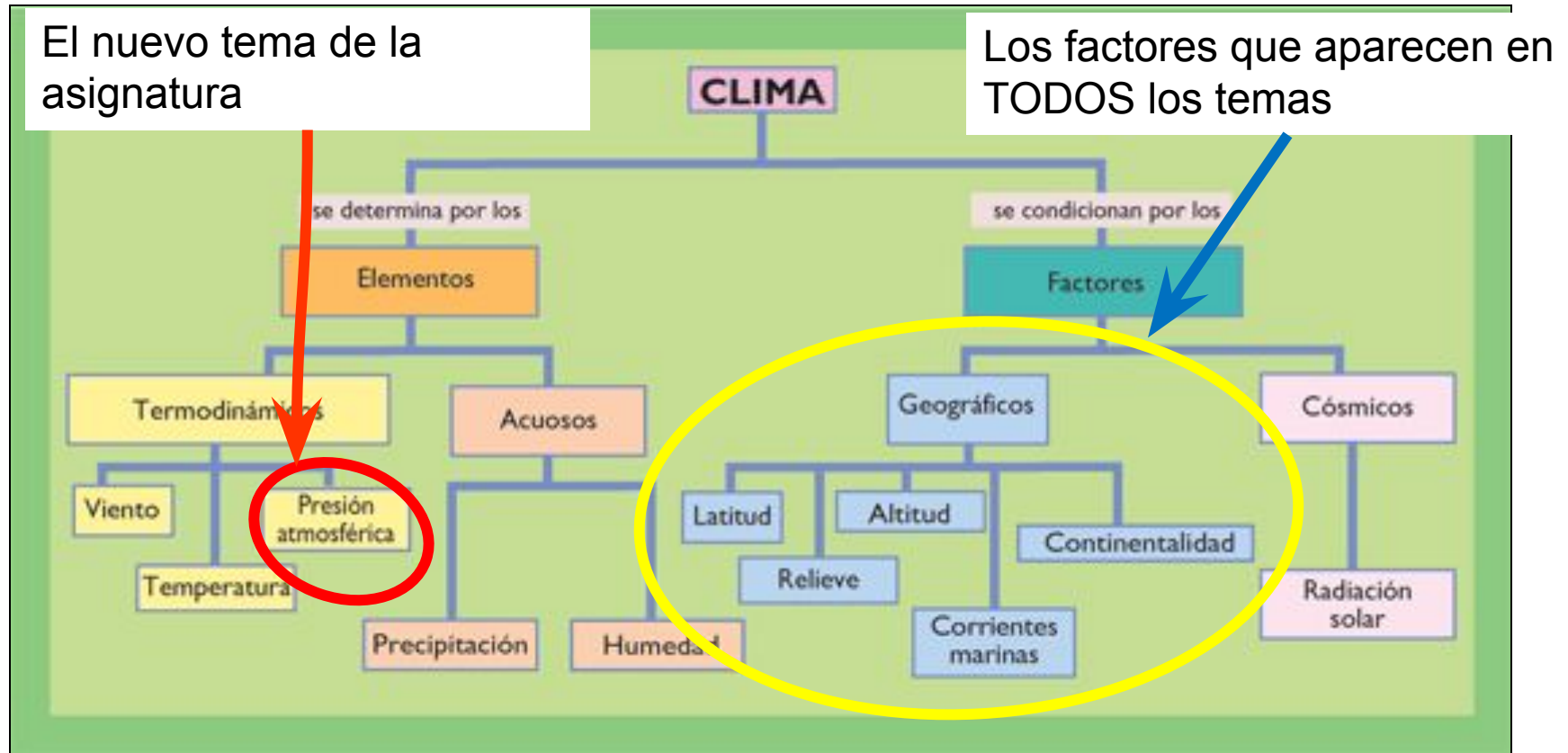
Domingo 28-09-2025. Mapa de valores de presión en superficie. Los restos de un huracán llegan a la Península en forma de depresión

Mean sea level pressure and 850 hPa wind speed

Base time: Sun 28 Sep 2025 00 UTC Valid time: Sun 28 Sep 2025 00 UTC (+0h) Area : Europe



Un esquema genial (“maqueado”)



¿Muchos mapas de colores?

Lo que se ha mostrado son mapas de presiones a nivel del mar y a unos 5 km de altura con las direcciones del viento
COMO CONSECUENCIA DE LA
DISTRIBUCIÓN DE LAS PRESIONES EN
LA ATMÓSFERA por medio de unas líneas
que interpolan los datos de los
observatorios

Tema 4. La Presión atmosférica

- **La presión atmosférica.**
- Medida y expresión
- Representación.
- La ecuación de estado.
- Gradiente de presión. El equilibrio hidrostático.
- Variaciones verticales y horizontales de la presión.
- Patrones generales de presión.

¿Por qué si de una lata cerrada hacemos vacío se “arruga”?



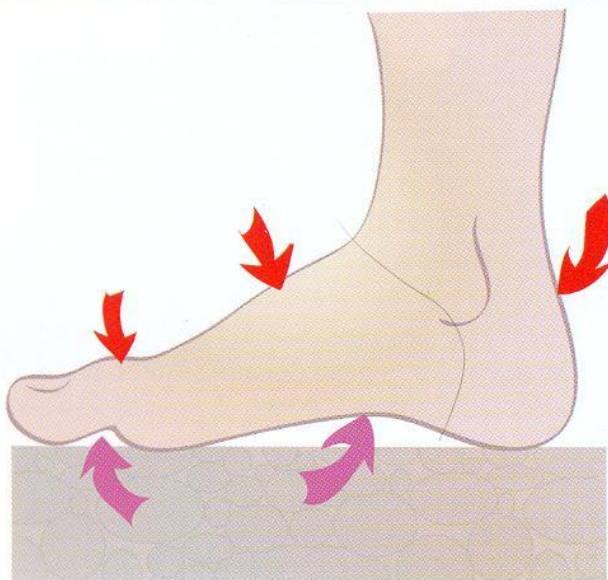
Por qué no recupera su forma una botella de plástico que hemos vaciado, aplastado y **taponado**?



¿Por qué podemos andar?

¿Por qué el desatascador es capaz de succionar?

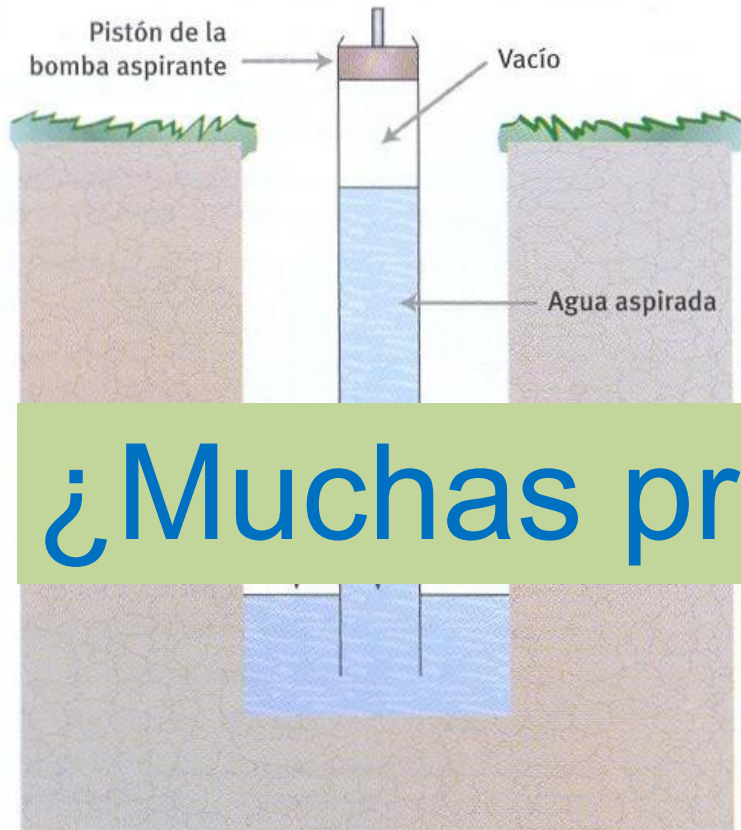
Fuerzas ejercidas por la presión atmosférica



Las fuerzas de presión se equilibran.
El pie no se aplasta contra el suelo por el aire
que se infiltra bajo el pie.

Para que un objeto haga ventosa, el aire no se puede infiltrar bajo el soporte.

Profundidad máxima del agua aspirada por la bomba



¿Por qué la minería no avanzó hasta la aparición de las máquinas de vapor?

¿Por qué si metemos una botella de plástico vacía al congelador... al sacarla está anastada?

¿Muchas preguntas?

¿Por qué cambia de forma una botella de plástico vacía y cerrada al ascender o descender en un avión?



No es fácil encontrar cuadros para este tema

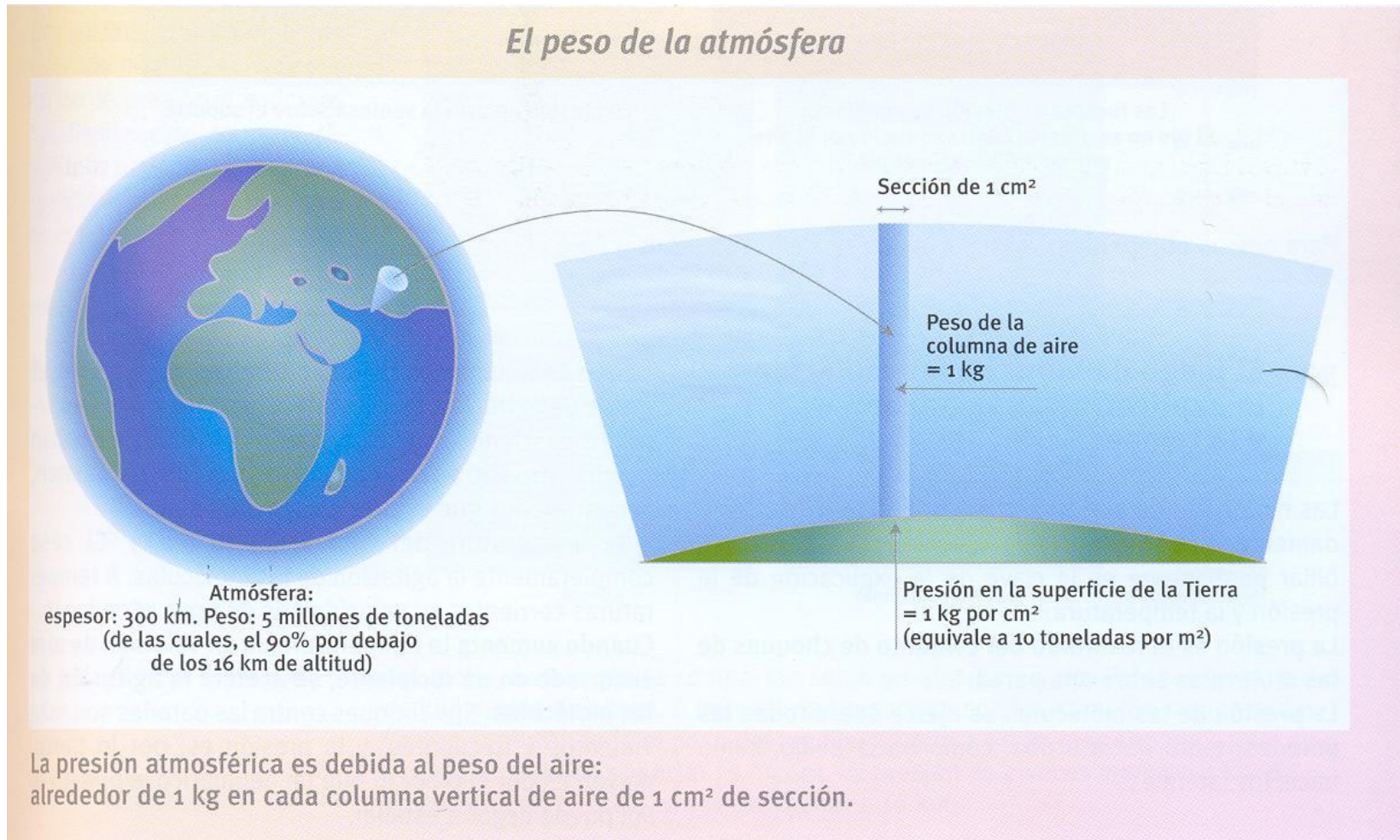
Todas estas esculturas ¿qué sugieren?



PESO

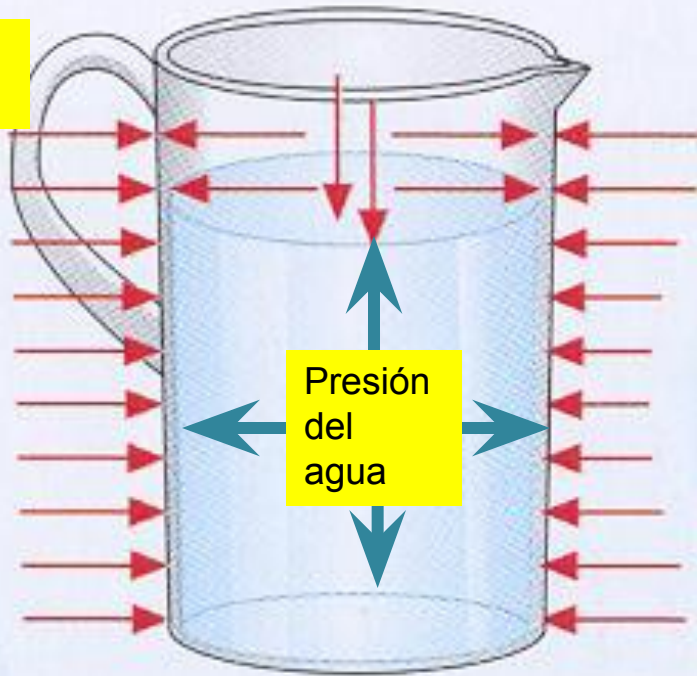


2ª Ley de Newton $F = m \times \text{aceleración}$, que aplicada a un área llamamos presión ($P = F / \text{área}$), es decir la **Presión es el PESO de la atmósfera.**



La Atmósfera es un fluido y en los fluidos la presión se ejerce en todas las direcciones

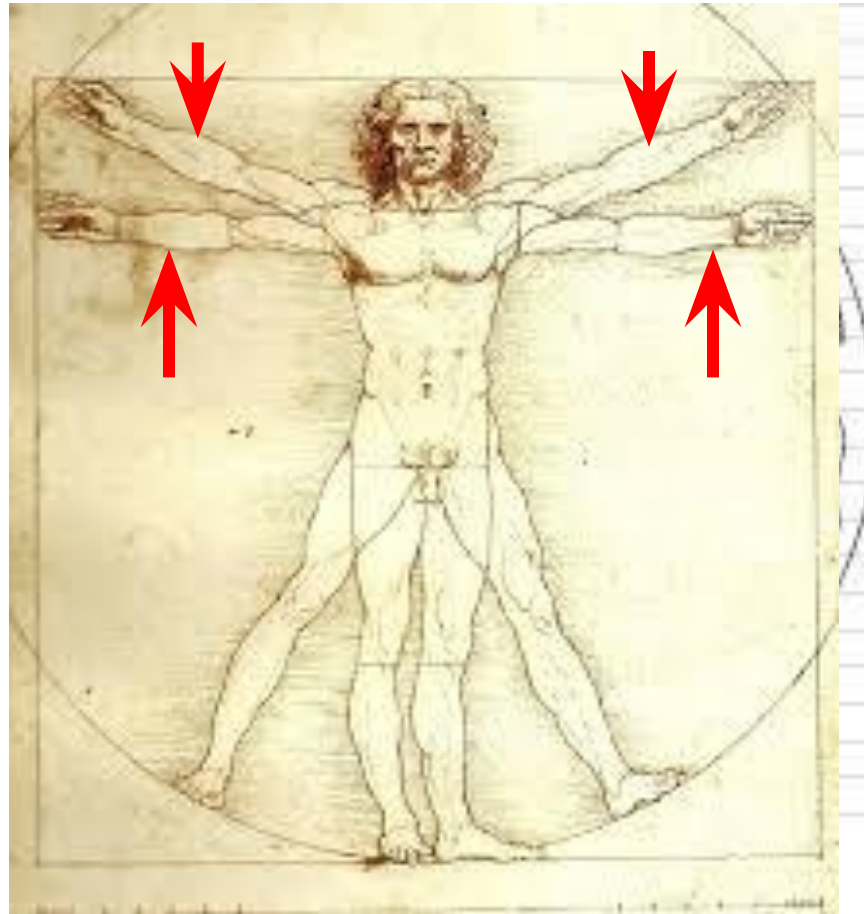
Presión
del aire



Presión
del
agua

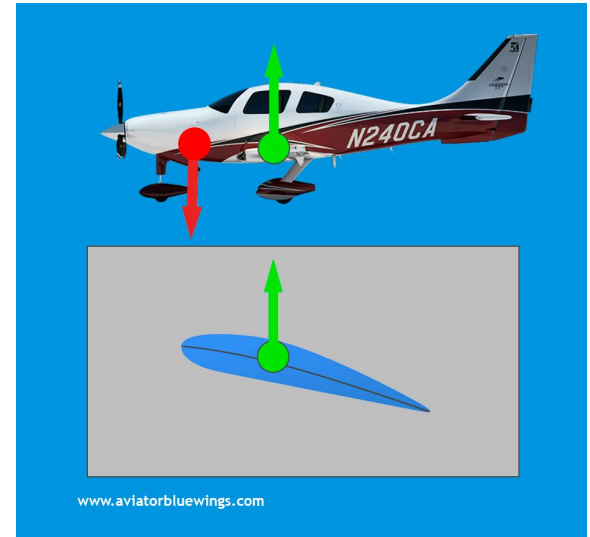
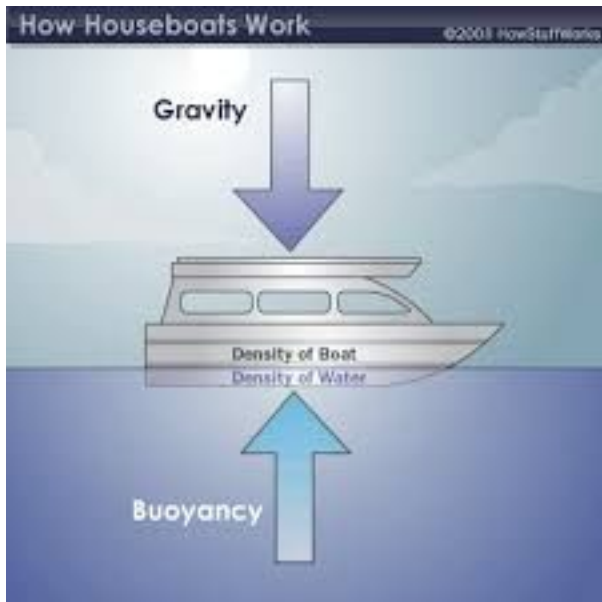
En la Atmósfera la presión refleja el peso de la masa de aire por encima, pero se ejerce en todas direcciones

Podemos levantar nuestros brazos porque en un fluido como la atmósfera la presión se ejerce en todas las direcciones

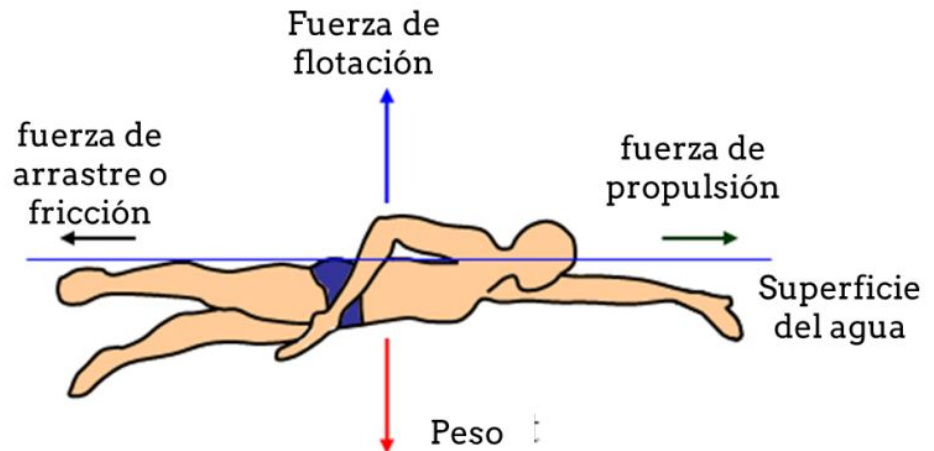


Es la razón de que vuelen los aviones.... Sin empuje ascendente bajo sus alas se caerían....

Que los barcos floten



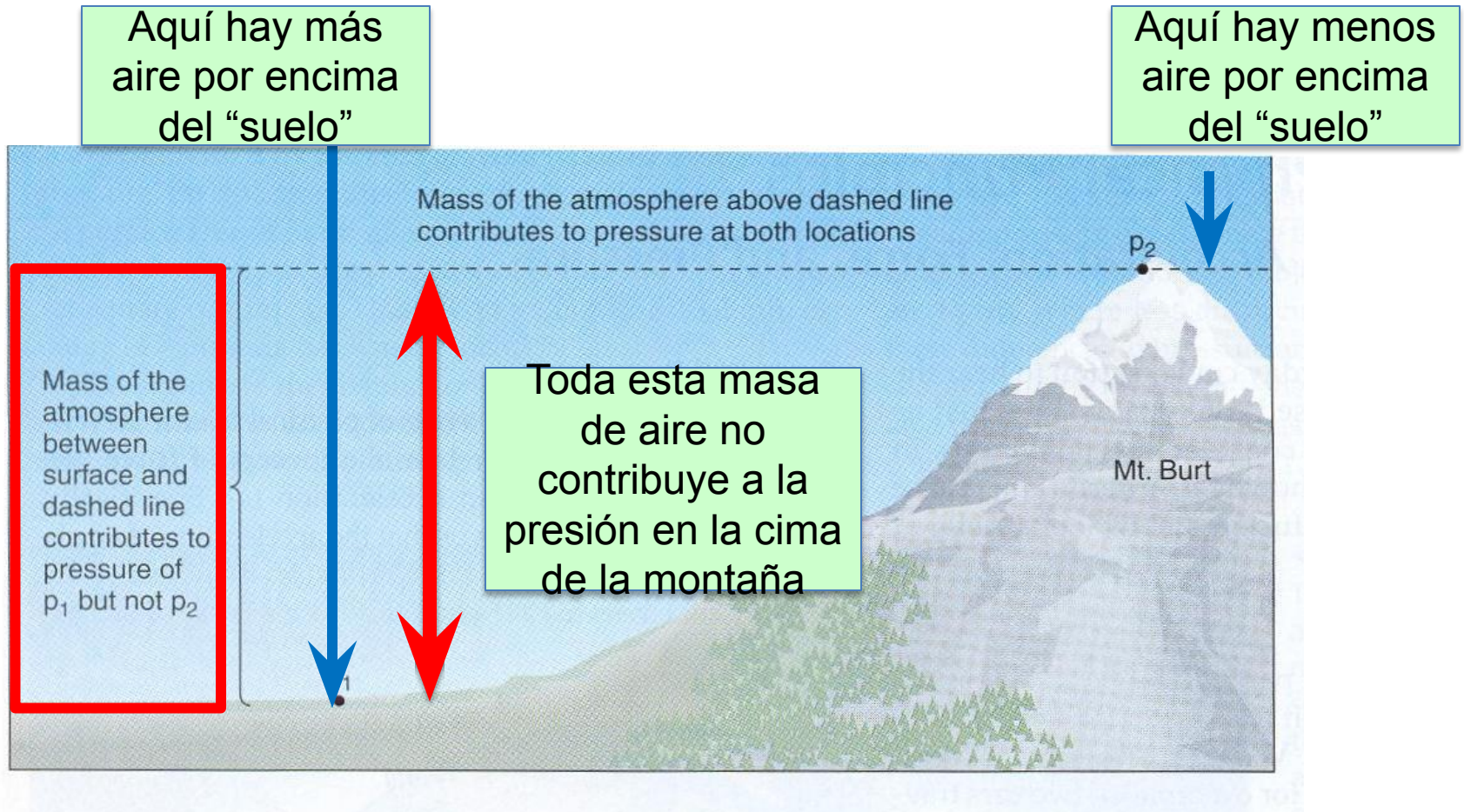
Y evita que el nadador se hunda...



Lo importante no es
la cantidad de la
fuerza sino su
relación con el área
en que se aplica



Es la única variable atmosférica que SIEMPRE disminuye con la altura



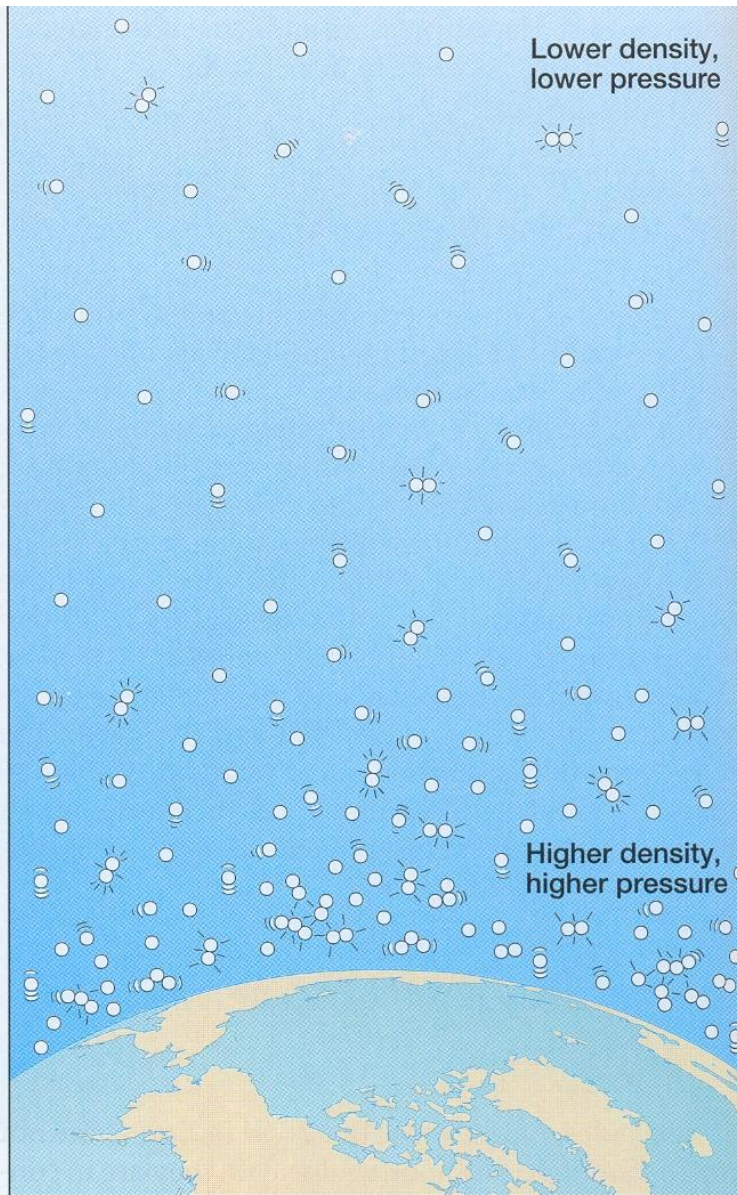


Figure 5-3 In the upper atmosphere, gas molecules are far apart and collide with each other infrequently, a condition that produces relatively low pressure. In the lower atmosphere, the molecules are closer together, and there are many more collisions, a condition that produces high pressure.

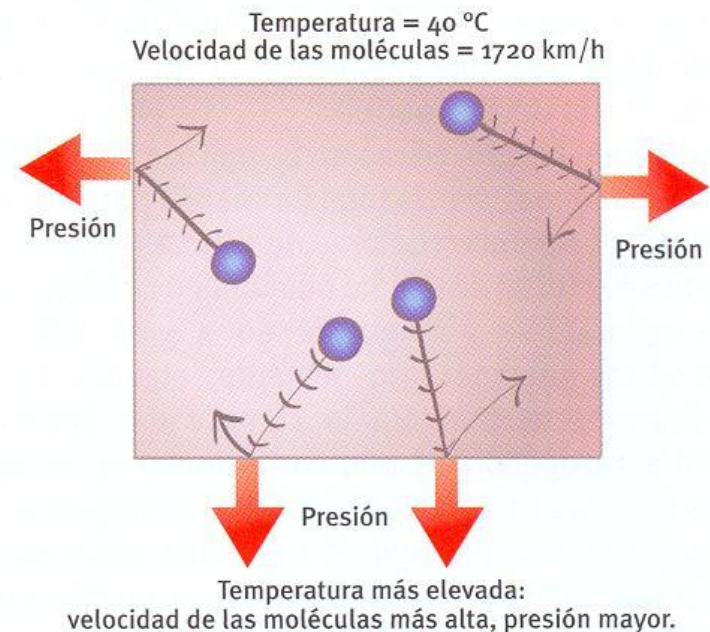
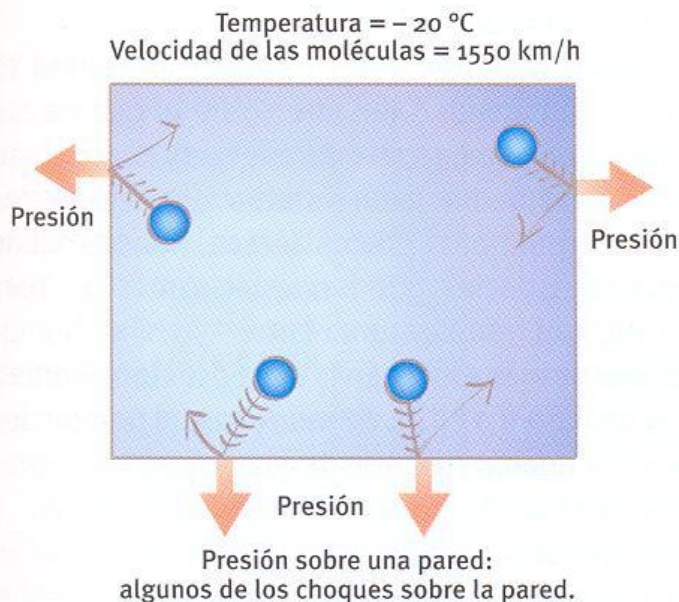
¿Por qué desciende con la altura?

- La fuerza de gravedad atrae la atmósfera hacia la superficie del planeta.
- Pero su efecto disminuye con la distancia

La presión de un gas:

- es proporcional a la tasa de colisión de sus moléculas entre si y con su confinante.
- es la suma de las presiones parciales de todos los gases (Ley de Dalton).

La explicación molecular de la presión y la temperatura



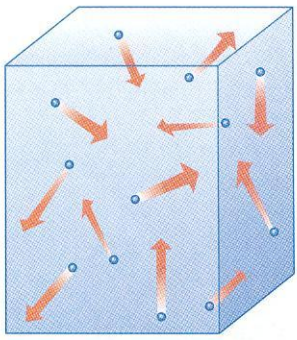
La velocidad de agitación de las moléculas aumenta con la temperatura. Son sus choques múltiples los que producen la presión.

La Presión puede variar por dos mecanismos:

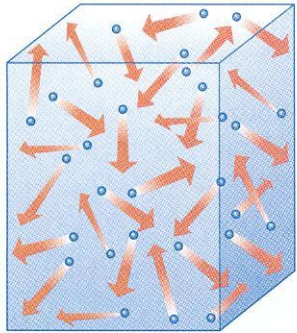
- Aumentando su **temperatura** (más colisiones). El golpeteo de las moléculas contra las paredes del confinante es la presión. Ojo recipientes confinados a presión cerca del fuego o ruedas de coche.
- Aumentando su **densidad** (más gas o menos volumen)

Es decir, la Presión refleja la temperatura y la densidad del gas.

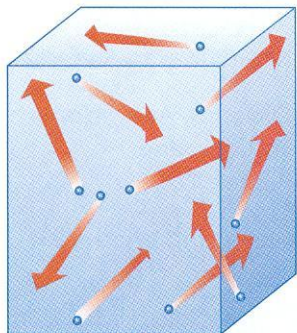
The movement of air molecules (indicated by the dots with the red arrows) within a sealed container exerts a pressure on the interior walls (a). The pressure can be increased by increasing the density of the molecules (b) or increasing the temperature (c). The speed of the molecules (and therefore the temperature) is indicated by the degree of redness and length of the arrows.



(a)



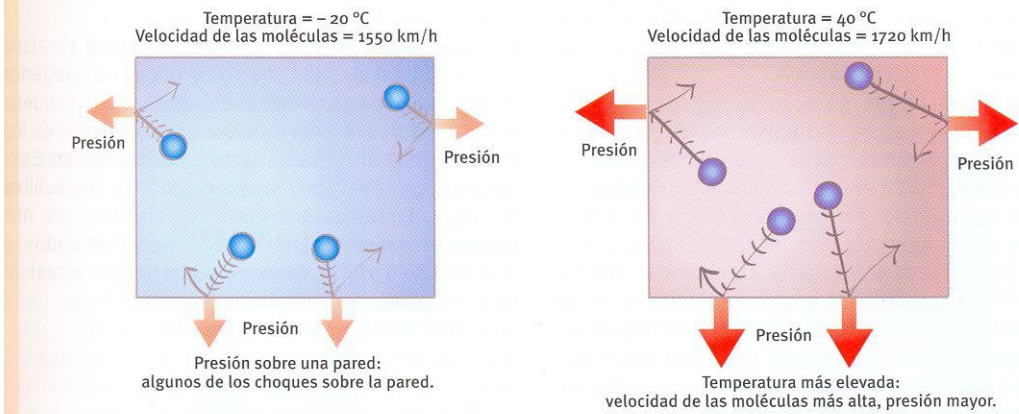
(b)



(c)

▲ Figura 4.4

La explicación molecular de la presión y la temperatura



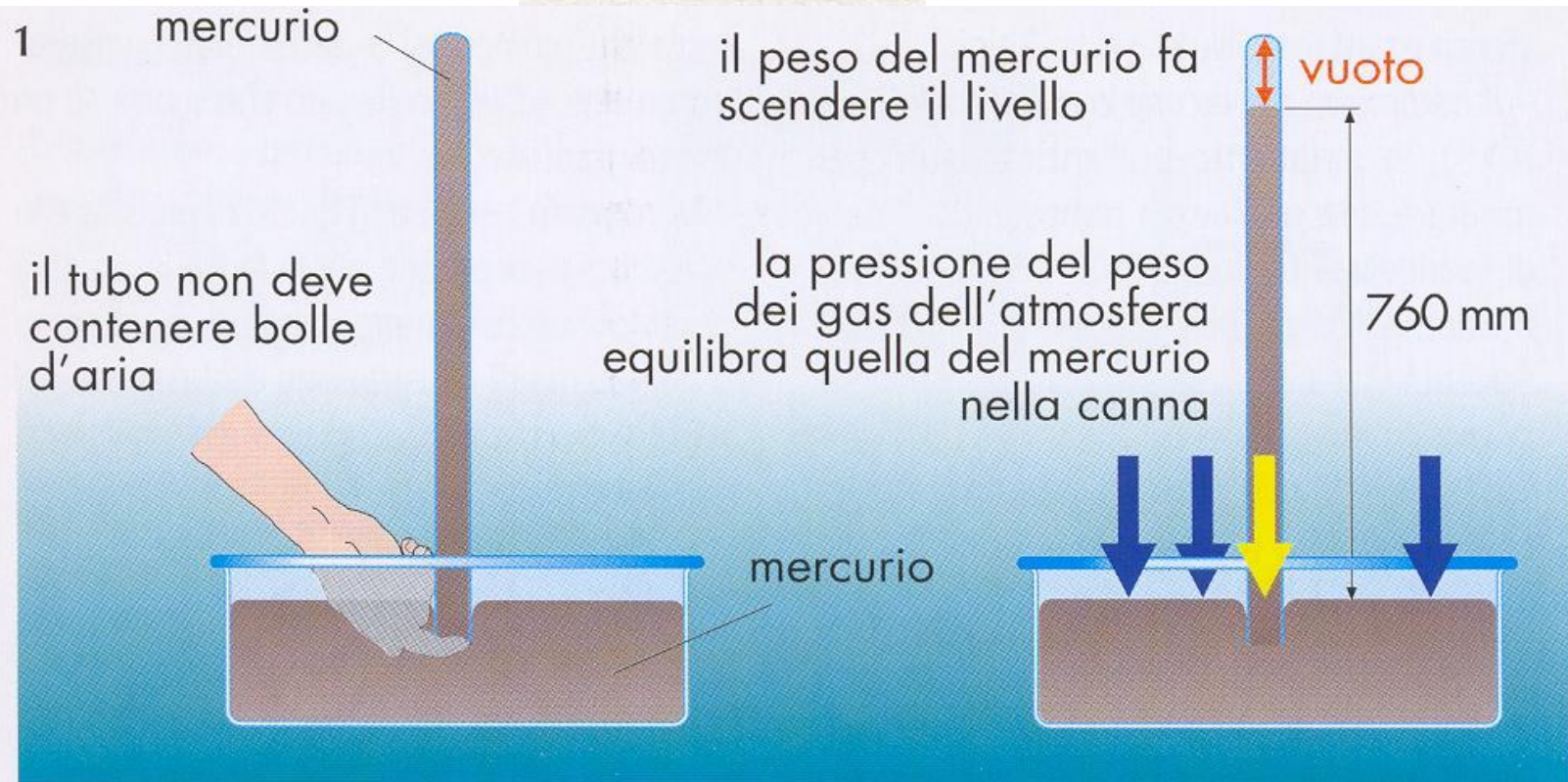
La velocidad de agitación de las moléculas aumenta con la temperatura. Son sus choques múltiples los que producen la presión.

PRESION y CLIMA

- **Motor principal del movimiento del aire.** El aire se mueve para equilibrar presiones distintas siempre de más a menos presión (***Tema 5***).
- La presión y su “subproducto” el “viento” **contribuyen a la caracterización y distribución de los climas** (***Tema 3, 5, 9***).
- Los vientos equilibran el clima global del planeta al ayudar a **redistribuir el exceso energético** de las bajas latitudes e impedir el incremento del déficit de las altas latitudes (***Tema 2***).
- En resumen es **origen de muchos fenómenos en la atmósfera** bien por sus variaciones espaciales o temporales

Tema 4. La Presión atmosférica

- La presión atmosférica.
- **Medida y expresión**
- Representación.
- La ecuación de estado.
- Gradiente de presión. El equilibrio hidrostático.
- Variaciones verticales y horizontales de la presión.
- Patrones generales de presión.

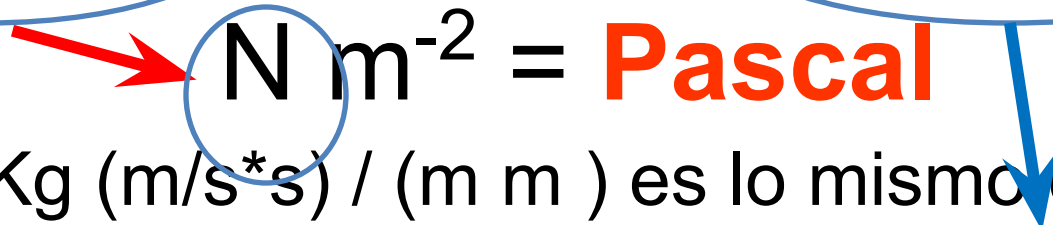


1. L'esperimento di Torricelli serve a misurare la pressione atmosferica in modo indiretto, come "peso" di una colonnina di mercurio.

Expresión y Unidades

Fuerza / área =

$$\text{kg (m/s}^*\text{s)} / (\text{m m}) = \text{Kg m}^{-1} \text{s}^{-2} =$$


$$\text{N m}^{-2} = \text{Pascal}$$

Kg (m/s*s) / (m m) es lo mismo que
M (L / T * T) / (L L), es decir $M L^{-1} T^{-2}$

Masa atmosférica $5.3 \times 10^{18} \text{ N} / \text{área terrestre} =$
 10.132 N cm^{-2} (= 1013.2 mb), aprox. 1 kg cm^{-2}

Tradicionalmente:

densidad x aceleración x altura mercurio

$$13.595 \text{ g cm}^{-3} \times 980.665 \text{ cm s}^{-2} \times 76 \text{ cm} =$$

$$1013242.6 \text{ barias} (= \text{g cm}^{-1} \text{ s}^{-2}) = 1013.2 \text{ mb}$$

Valores normales 1013 mb y 760 mm Hg

Equivalencias (empleadas en meteorología-clima por su pequeño valor)

bar = 100.000 Pa, por lo tanto

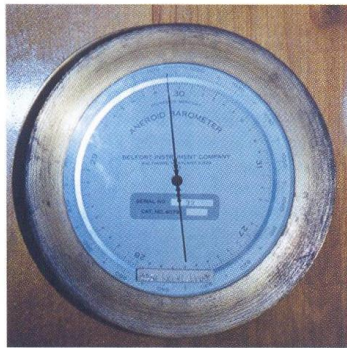
milibar (mb) = hPa

Otras Unidades

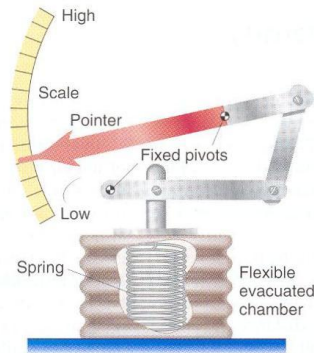
Kpa = 1000 Pa = 10 mb.

También mm de mercurio (Torricelli).

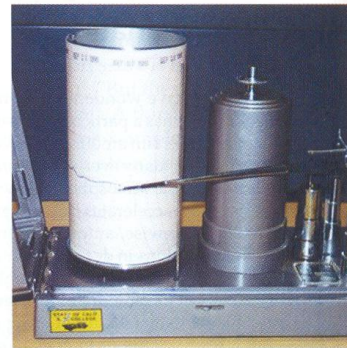
Instrumentos de medida de la presión: barómetro y barógrafo



(a)



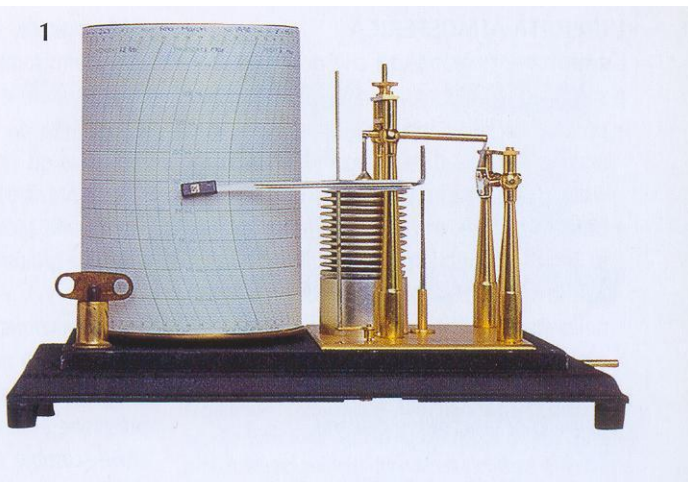
(b)



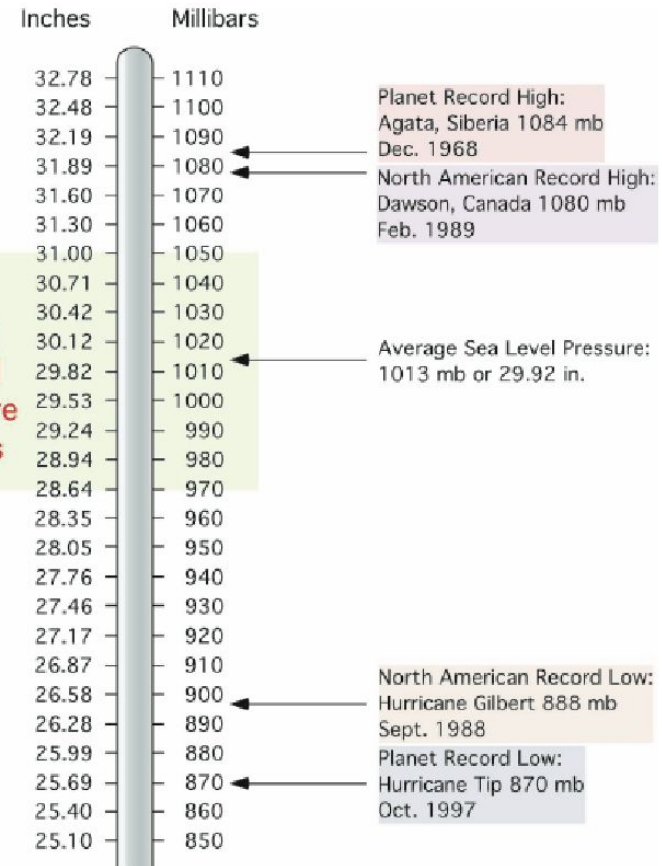
(c)

▲ Figure 4-5

An aneroïd barometer (a) and its workings (b). A barograph



1



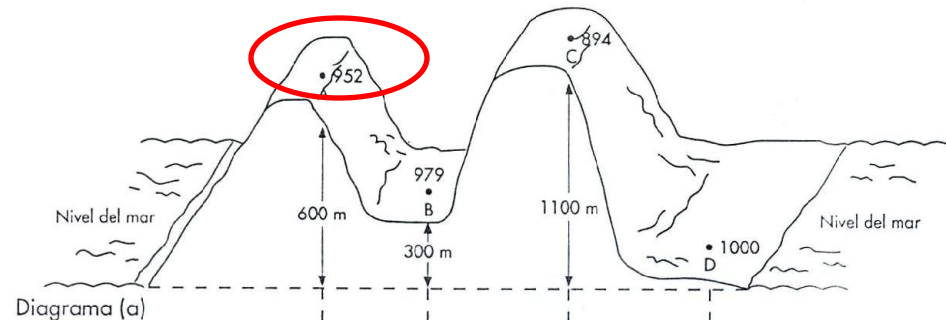
Normal Range of Sea Level Air Pressure Variations

FIGURE 7.6 Sea level variations and extremes in atmospheric pressure in inches of mercury and millibars. (Image Copyright: Michael Pidwirny)

Tema 4. La Presión atmosférica

- La presión atmosférica.
- Medida y expresión
- **Representación.**
- La ecuación de estado.
- Gradiente de presión. El equilibrio hidrostático.
- Variaciones verticales y horizontales de la presión.
- Patrones generales de presión.

En superficie, líneas de igual presión, isóbaras, interpoladas a partir de observaciones corregidas por la altitud del observatorio (gravedad, densidad)



Conste que no me he olvidado de la parte final de la práctica 1 en la que relacionamos la topografía con la interpolación de datos climáticos

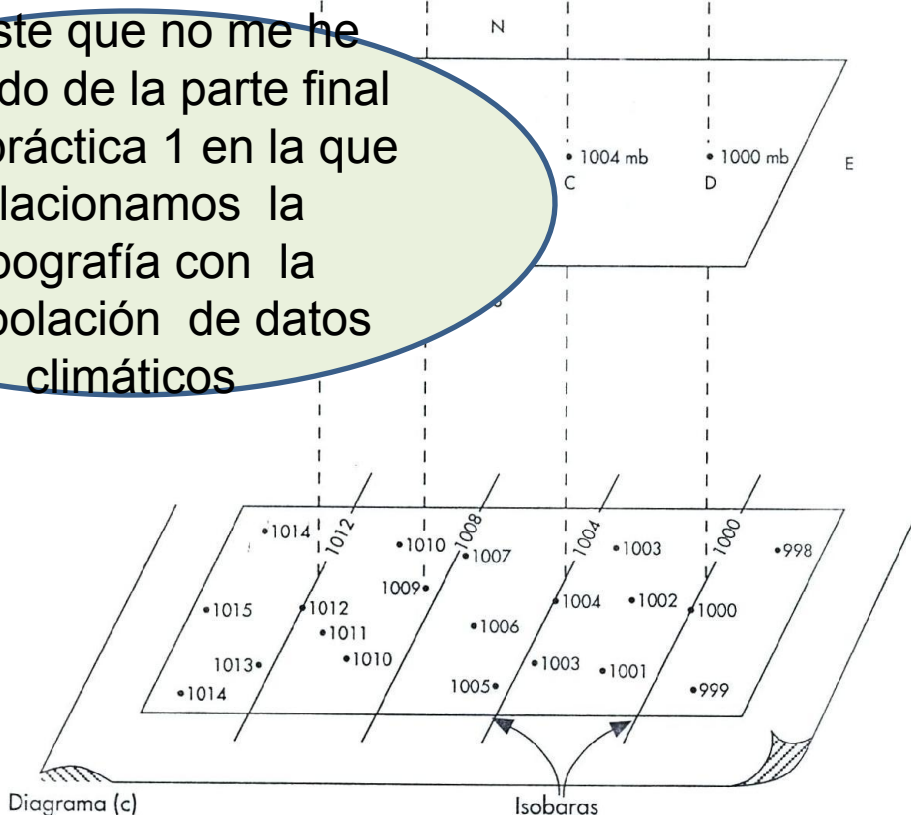
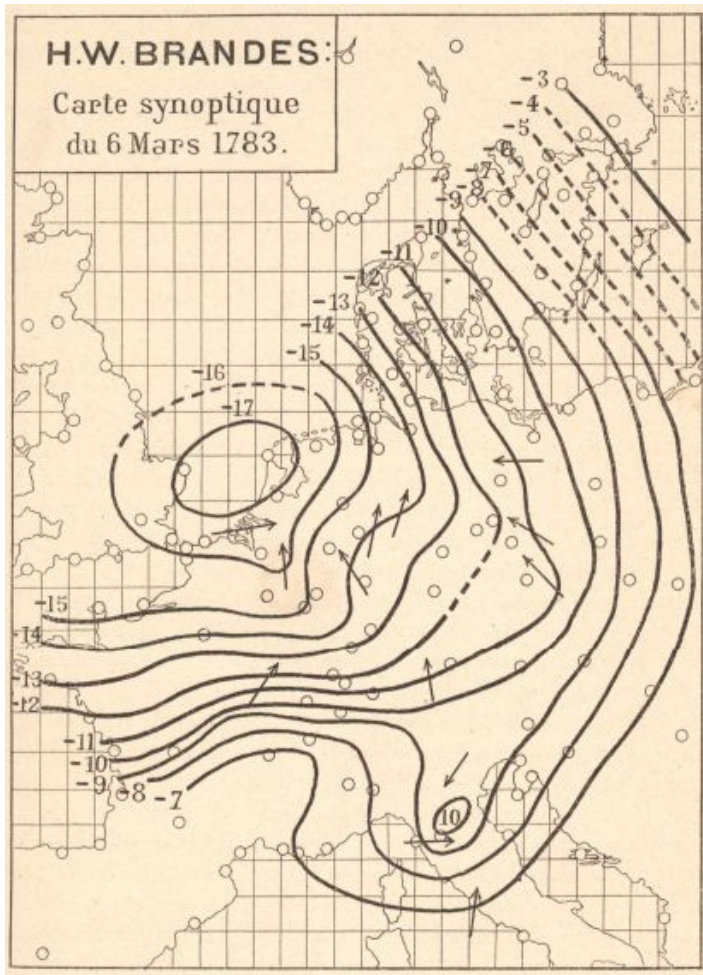
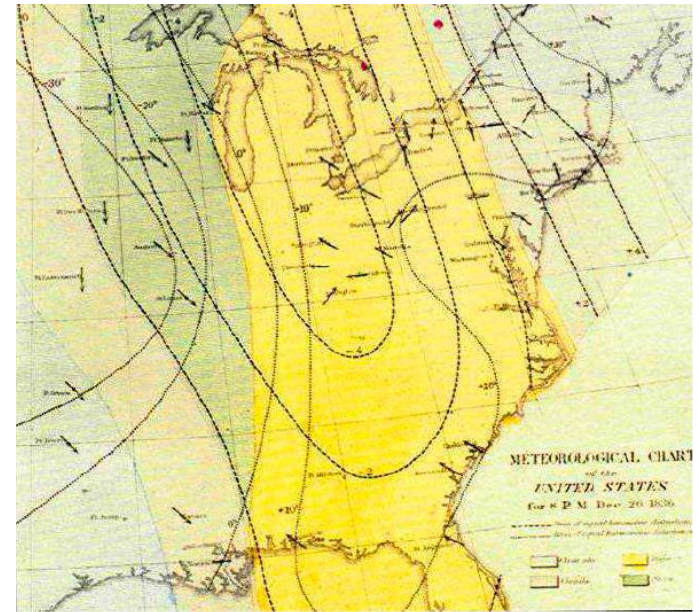


Diagrama (a): Cuatro observatorios (A, B, C, D) con distintas altitudes y distintos valores de presión.
Diagrama (b): La presión al nivel del mar de los cuatro observatorios.
Diagrama (c): Mapa de isobaras al nivel del mar.

Desde entonces hasta hoy

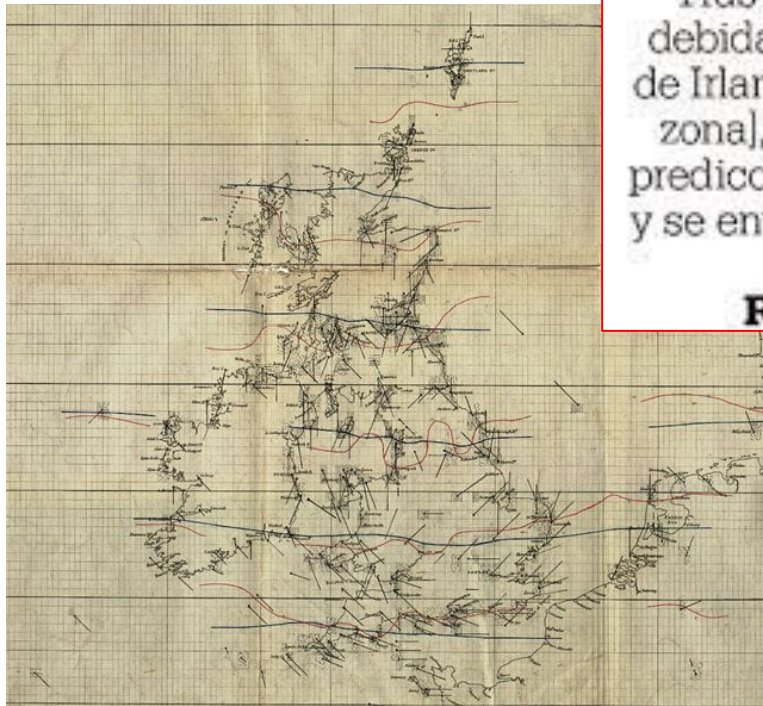


Muestra desviaciones de presión sobre valor medio



Mapa sinóptico de Elias Loomis (1811-81) de una tormenta que afectó al este de USA en 1842. Utilizaba flechas de diferentes longitudes para representar la dirección y fuerza del viento; las regiones con tiempo despejado, nublado, lluvia, nieve o niebla estaban coloreadas en azul, marrón, amarillo, verde y rojo respectivamente

Mapa sinóptico e informe de Fitzroy de la región oriental del Atlántico Norte publicado poco después de la "Royal Charter Storm" del 29 de octubre de 1859, ilustra las primeras técnicas para componer los mapas sinópticos y conceptos meteorológicos.



Tras recopilar y examinar debidamente los telegramas de Irlanda [o de cualquier otra zona], se elabora la primera predicción para esa región [...] y se envía para su publicación inmediata.

Robert FitzRoy

Among other storms to be noticed in a more detailed manner, two alone will probably suffice as types shown in synchronous charts. The *Royal Charter* gale, so remarkable in its features, and so complete in its illustrations, I may say, from the fact of its having been noted at so many parts of our coast, and because the storm passed over the middle of the country, is one of the very best to examine which has occurred for some length of time. I would, therefore, ask for attention to this particular instance. It occurred on the 25th and 26th of October 1859. The lowest barometer and a corresponding or simultaneous central lull prevailed over areas of ten or twenty miles successively. But at the time that this comparative lull existed, there were violent winds around this central space (by some called a vortex, but more appropriately termed, because there was a central calm), while there were only variable winds or squalls over the area, which was from ten to twenty miles in diameter. It attained a *maximum* velocity of from sixty to eighty miles an hour, at a distance of twenty to fifty miles from the central quiet space, and in successive spiral turns. As England towards the north-east, the wind was from the north-east of the compass consecutively around the coast. On Anglesea the storm came from the north-east; in the Channel it was northerly, and on the east coast it was from the north-west; in the Straits of Dover it was from the north-east; and on the east coast it was easterly

—at the *same minute*.

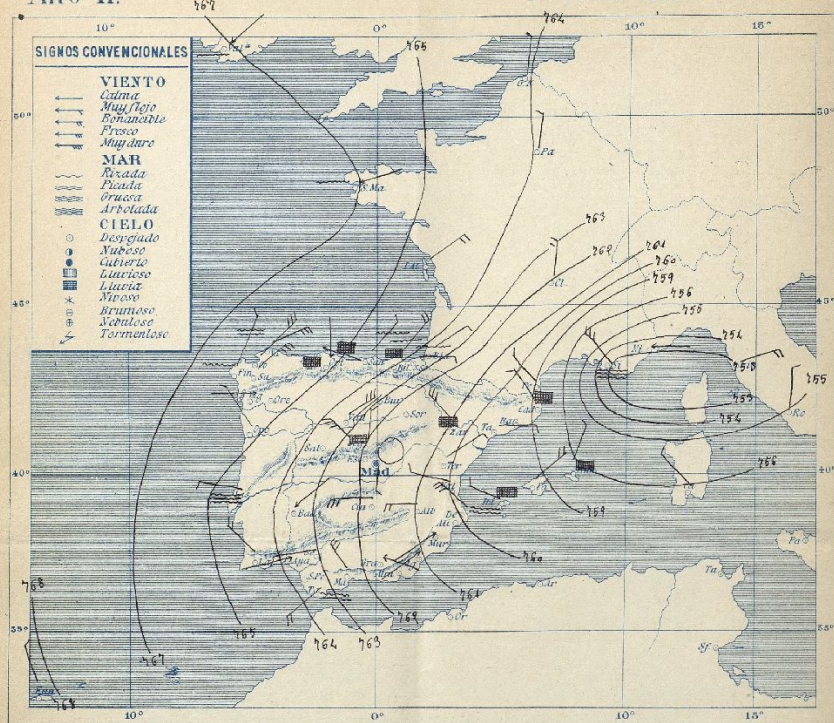
Thus there was an apparent circulation, or cyclonic commotion, passing northwards from the 25th to the 27th, being two complete days from its first appearance near the “chops” of the Channel; while outside of this circuit the wind became less and less violent; and it is very remarkable that, even so near us on the west coast of Ireland, there was fine weather, with light winds, while in the Bristol Channel it blew a northerly and westerly gale. At Galway and at Limerick, on that occasion, there were light winds only, while over England the wind was passing in a tempest, blowing from all points of the compass in irregular succession around a central variable area.*

Nota curiosa. Robert Fitzroy fue el capitán del Beagle, el barco que tuvo como naturalista a Charles Darwin, y que en su viaje permitió a este recopilar los datos con los que publicar el “Origen de las Especies”

TUES-DAY 12TH MARCH 1872 AT 8 A.M.



The dotted lines indicate the gradations of barometric pressure. The variations of the temperature are marked by figures, the state of the sea and sky by descriptive words, and the direction of the wind by arrows—barbed and feathered according to its force. ☉ denotes calm.



ESTADO GENERAL.

Continúa un mínimo situado en el golfo de Génova produciendo mal tiempo en el Mediterráneo, que se extiende al S. y Centro de la Península, con lluvias y vientos frescos y duros del 4.º cuadrante. Sigue la baja barométrica en las Dors y Madeira, y el alza en Islanda.

Tiempo probable

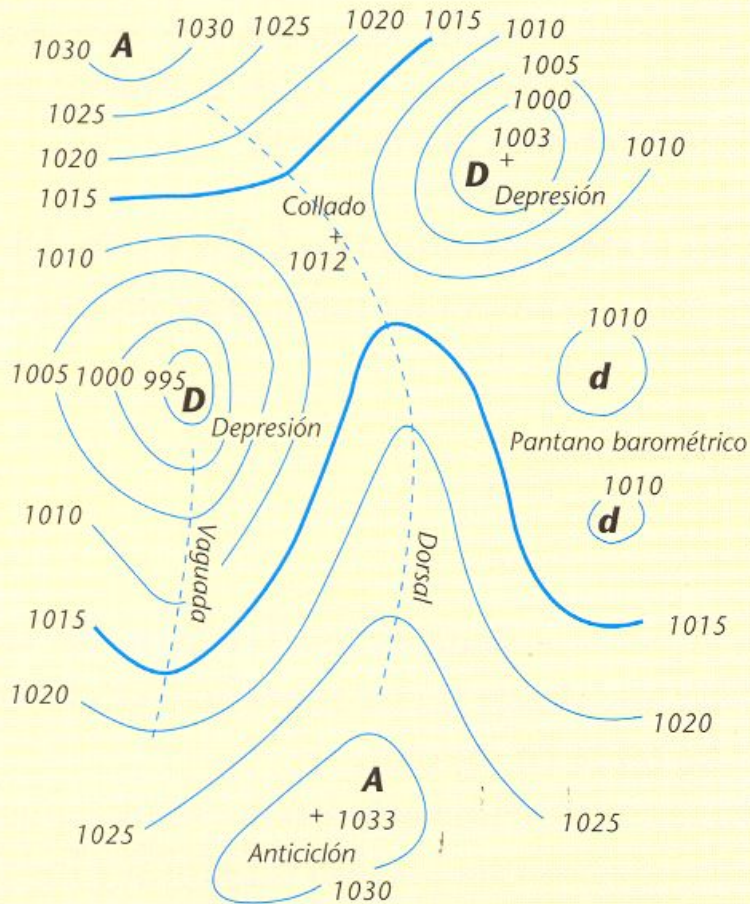
- EN EL N.** vientos frescos a duros chubascos del 4.º cuadrante.
- N.W.** id id id id del 3.º id.
- CENTRO.** como para el 25.
- S.** vientos frescos del 4.º cuadrante chubascos.
- E.** id id id id id.
- N.E.** como para el 25.

Observaciones de la mañana.

Estacion	Barom. al nivel del mar	Termom. Seco	Húm.	Viento Direc. Fuerza	Estado del cielo	Estado del mar	Dichas en las 24 horas		Dichas de la víspera			
							Pluvia o nieve	Temp. en el air	Barom. al nivel del mar	Termom. Seco	Viento Direc. Fuerza	Estado del cielo
ALICANTE	761.1	27.1	6.1	27.6. Viento	Obt.	Mar.	—	12.0	762.5	6.1	27.6. Viento	Obt.
RISNEZ	763.7	25.5	5.5	25.5. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
FATHIEU	763.2	25.2	5.2	25.2. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
MADEIRA	763.0	25.0	5.0	25.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
BARRUTZ	766.2	27.0	5.0	27.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ERENAN	762.3	26.1	5.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ABOSICIE	763.5	25.2	5.2	25.2. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
IZA	765.5	25.6	1.2	25.6. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ERMONT	761.8	24.1	1.1	24.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ERIS	763.6	25.7	2.8	25.7. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
SEBASTIAN	763.8	25.8	2.8	25.8. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ILBAO	764.7	26.6	2.6	26.6. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ANTANDER	764.4	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
VIEDO	765.3	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
VILES	765.2	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ARES	763.1	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ORUNA	765.1	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
INSIERRE	765.5	26.4	0.4	26.4. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ANTIAGO	764.4	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
TOO	764.0	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
RENSE	763.2	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
OROS	763.9	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ALLADOLID	763.9	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ALAMANCA	763.2	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
PORTO	763.2	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ISBOA	763.2	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
AGOS	763.6	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
UNCHAL	763.5	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ENTADEGADA	763.0	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ADAJOS	763.0	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
EVILLA	763.5	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
KAMONTE	763.5	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
FERNANDO	763.5	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
TRIFA	763.5	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
MALACA	763.0	26.0	0.8	26.0. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
GRANADA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ALMERIA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
LOULAS	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
LICANTE	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
URCIA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ENIA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ALICANTE	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
UDAD-REAL	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ABACETE	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ADRID	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
EGOVIA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
SCORIAL	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ORIA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ARAGOZA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ERUEL	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ARRAGONA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ARCELONA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ADACQUES	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
IAHON	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ALMA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
BIZA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
IRAN	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
BOEL	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
UNEZ	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
IFRIZ	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ROENA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
ROMA	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
AGILIARI	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—
MILRMO	763.1	26.1	1.1	26.1. Viento	Obt.	Mar.	—	—	—	—	—	—

El Director
ARCIMIS

Mapas de superficie. Individuos isobáricos



DORSALES, VAGUADAS, COLLADOS Y PANTANOS BAROMÉTRICOS

La distribución de la presión en la superficie de la Tierra hace que las isobaras formen unas figuras características que los meteorólogos han bautizado con unos términos análogos a los utilizados en los mapas terrestres.

Un anticiclón que se alarga según un eje principal configura en esa zona una dorsal. Una depresión que se prolonga en una dirección determinada forma una vaguada; un collado representa al mismo tiempo un valor bajo a lo largo de una línea de crestas (eje que une dos anticiclones o dos dorsales...) y un punto alto que separa dos valles (eje que comunica dos depresiones o dos vaguadas...); un pantano barométrico es una zona con un relieve muy poco contrastado, con isobaras espaciadas y mal organizadas; los pantanos se pueden encontrar en los anticiclones o, más frecuentemente, en depresiones poco profundas.

La isobara 1015 hPa está reforzada (cota más próxima a la presión media al nivel del mar).

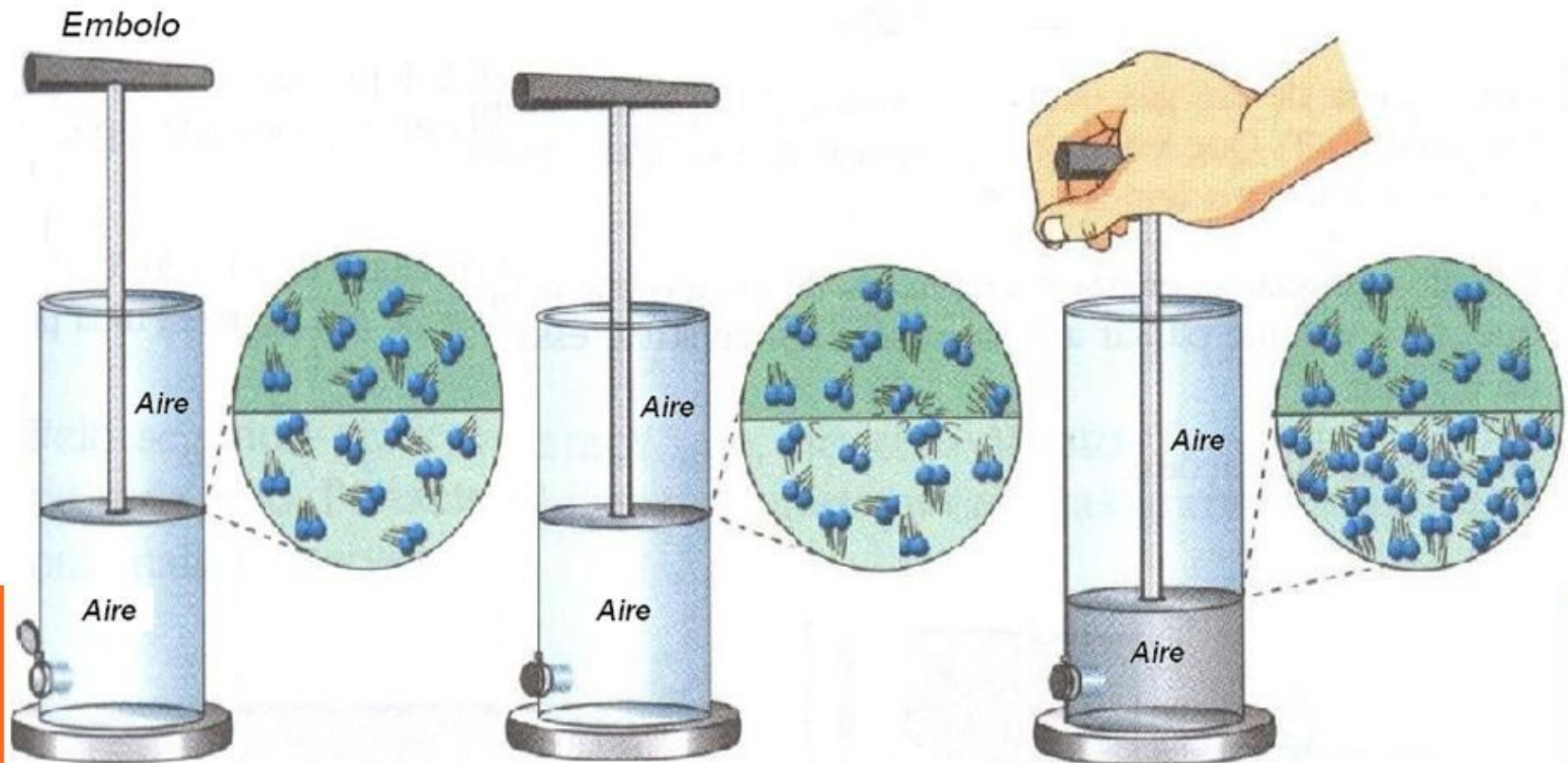
Tema 4. La Presión atmosférica

- La presión atmosférica.
- Medida y expresión
- Representación
- **La ecuación de estado.**
- Gradiente de presión. El equilibrio hidrostático.
- Variaciones verticales y horizontales de la presión.
- Patrones generales de presión.

Ley de Boyle: $P = 1/V$, relación inversa presión y volumen

–A Temperatura constante (isotérmico), si la densidad aumenta (disminuye

Ley de Boyle y Mariotte



Ley de Charles: $T = V$, relación directa volumen y temperatura

–A Presión constante (proceso isobárico), si la temperatura aumenta el volumen también (y la densidad bajará), y viceversa

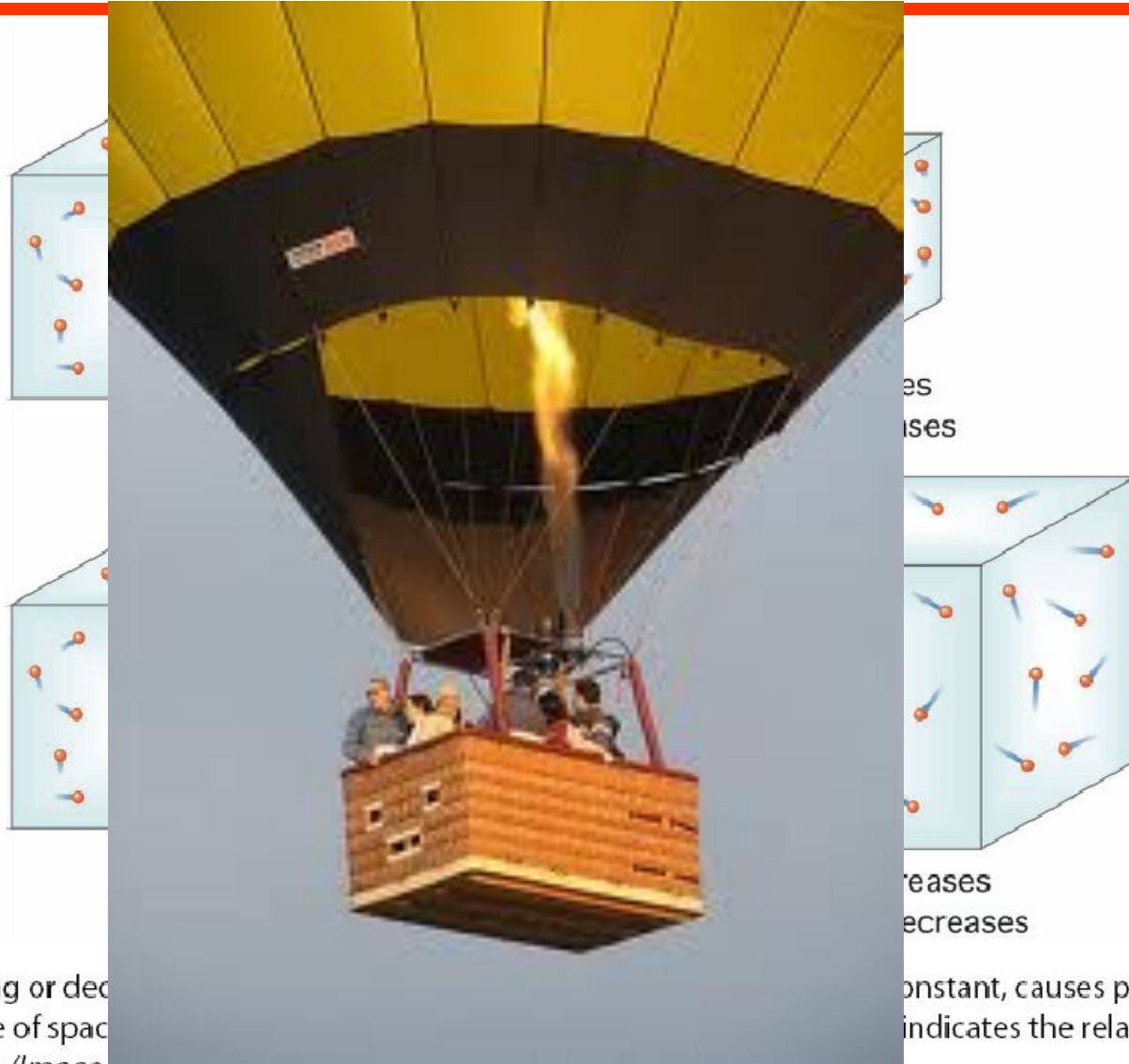


FIGURE 7.4 Increasing or decreasing the density and volume of space moving gas molecules. (Image Copyright: Michael Pławinski)

Ley de Gay-Lussac: $T \propto P$ relación directa presión y temperatura

–Con Volumen constante
la presión

se aumentará



FIGURE 7.3 Increase in the pressure exerted by a gas with increasing temperature at constant volume.
(Image Copyright: Michael Prowirny)



ed



ed

proportional changes in
moving gas molecules.

Ley de los gases

Ecuación general de los gases

$$R = PV / T, \text{ o bien } P V = R T,$$

En su forma habitual

$$P = \rho R T$$

Unidades = $(\text{kg m}^{-3}) (\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}) (\text{K}) = \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2} = \text{Nm}^{-2} = \text{Pa}$
 ρ , densidad Kg / m^3

R, constante, (287 Julios / Kg Kelvin)

T, temperatura (Kelvin), P presión y V volumen

En resumen $P = \rho R T$

- ✓ A Temperatura constante, si la densidad aumenta la presión también (Ley de Boyle)
 $P = \rho R$ (quitamos T)
- ✓ Con Densidad constante, el calentamiento del gas aumentará la presión (Ley de Gay-Lussac)
 $P =$ (quitamos ρ) $R T$
- ✓ Si la presión es constante, un aumento de la temperatura disminuye la densidad y *viceversa* (Ley de Charles)
(*si mantenemos P*) $= \underline{\rho} R \underline{T}$

- *Pero la relación no es tan simple, intervienen las tres variables, y por ello un calentamiento no conduce directamente a una alta presión.*
- *Recordemos que la presión cambia por modificaciones de la temperatura, y la densidad (volumen)*

¿Dónde no debes
poner la mano en
la vela?



¿Por qué?



¿cómo se siente la mano
al coger el helado?

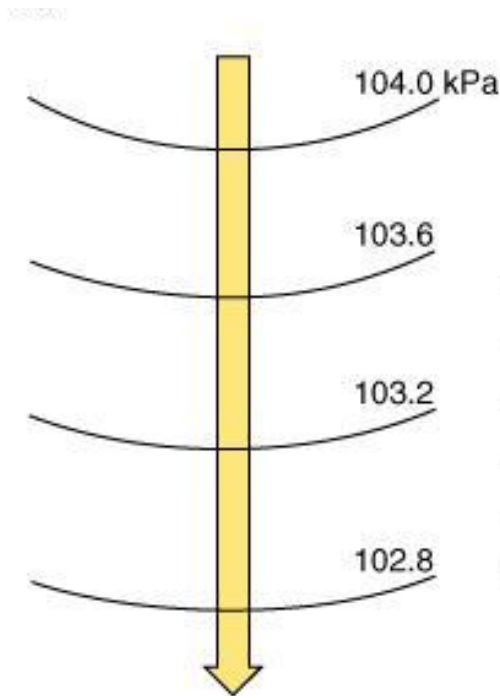
¿Por qué las camas dentro de un igloo se colocan elevadas del suelo?



Tema 4. La Presión atmosférica

- La presión atmosférica.
- Medida y expresión
- Representación
- La ecuación de estado
- **Gradiente de presión. El equilibrio hidrostático.**
- Variaciones verticales y horizontales de la presión.
- Patrones generales de presión.

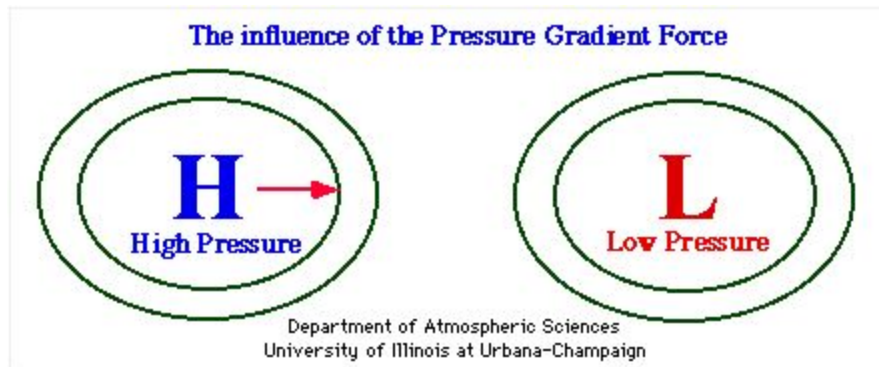
Gradiente de presión



Las diferencias de presión por unidad de distancia producen el gradiente de presión.

El gradiente existe en horizontal y vertical.

El movimiento del aire en la **horizontal** se produce para equilibrar la diferencia (de más a menos) de presiones y es el origen del viento.

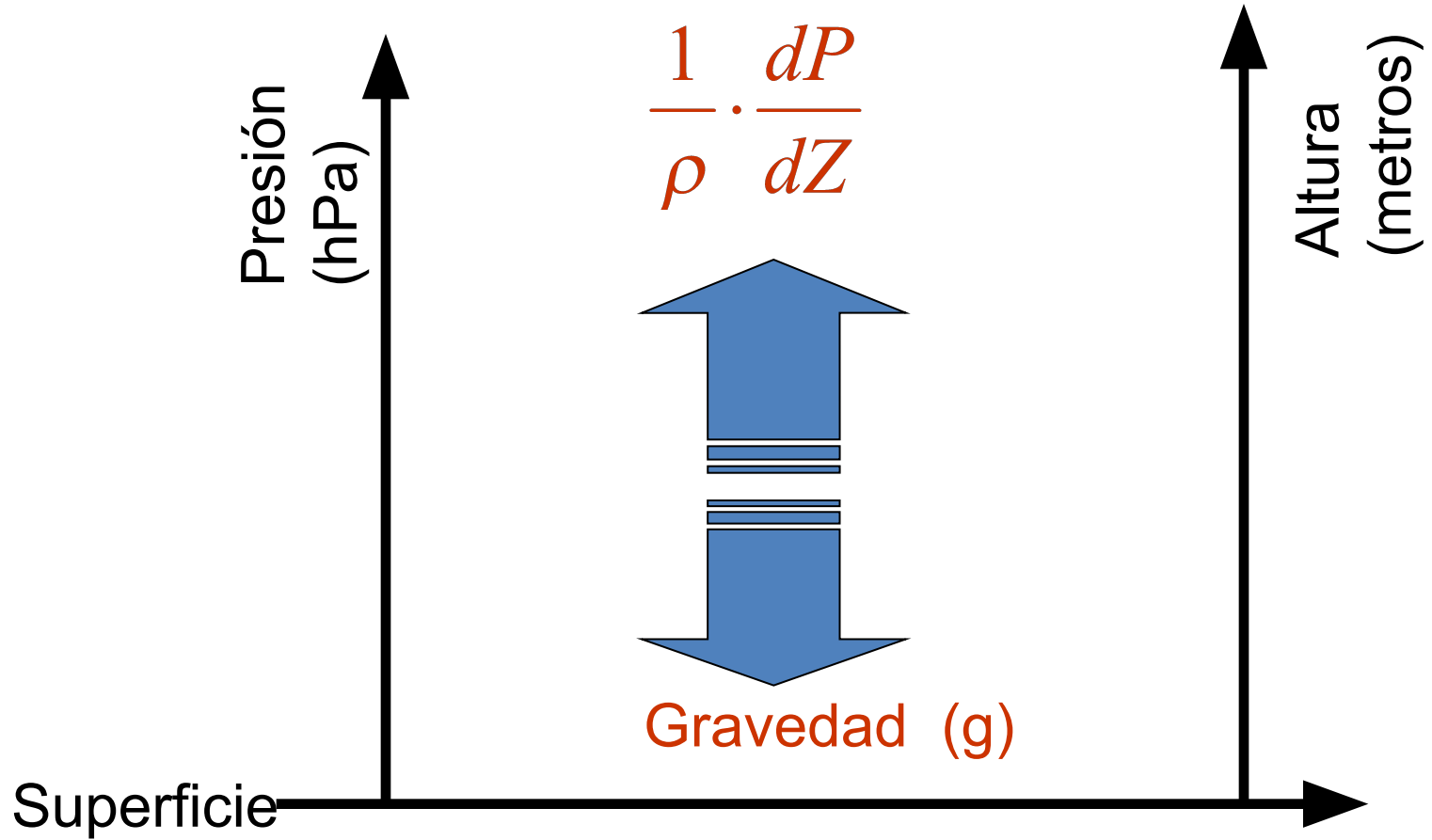


En **vertical** la “cosa es más compleja” y rige la subsidencia (descenso) y convección (ascenso)

El equilibrio hidrostático

- Siempre existe un gradiente de presión entre superficie y altura. Por ello deberíamos levitar, pero esto no ocurre.
- Al gradiente vertical de presión se contrapone la fuerza de la gravedad.
- El *movimiento ascendente o descendente* finalmente solo se producirá cuando ambas fuerzas se desequilibren. El equilibrio hidrostático es quien rige esta situación.
- La densidad y las variaciones de presión en atmósfera enfriada y calentada controlan este balance .

Balance hidrostático



El equilibrio hidrostático

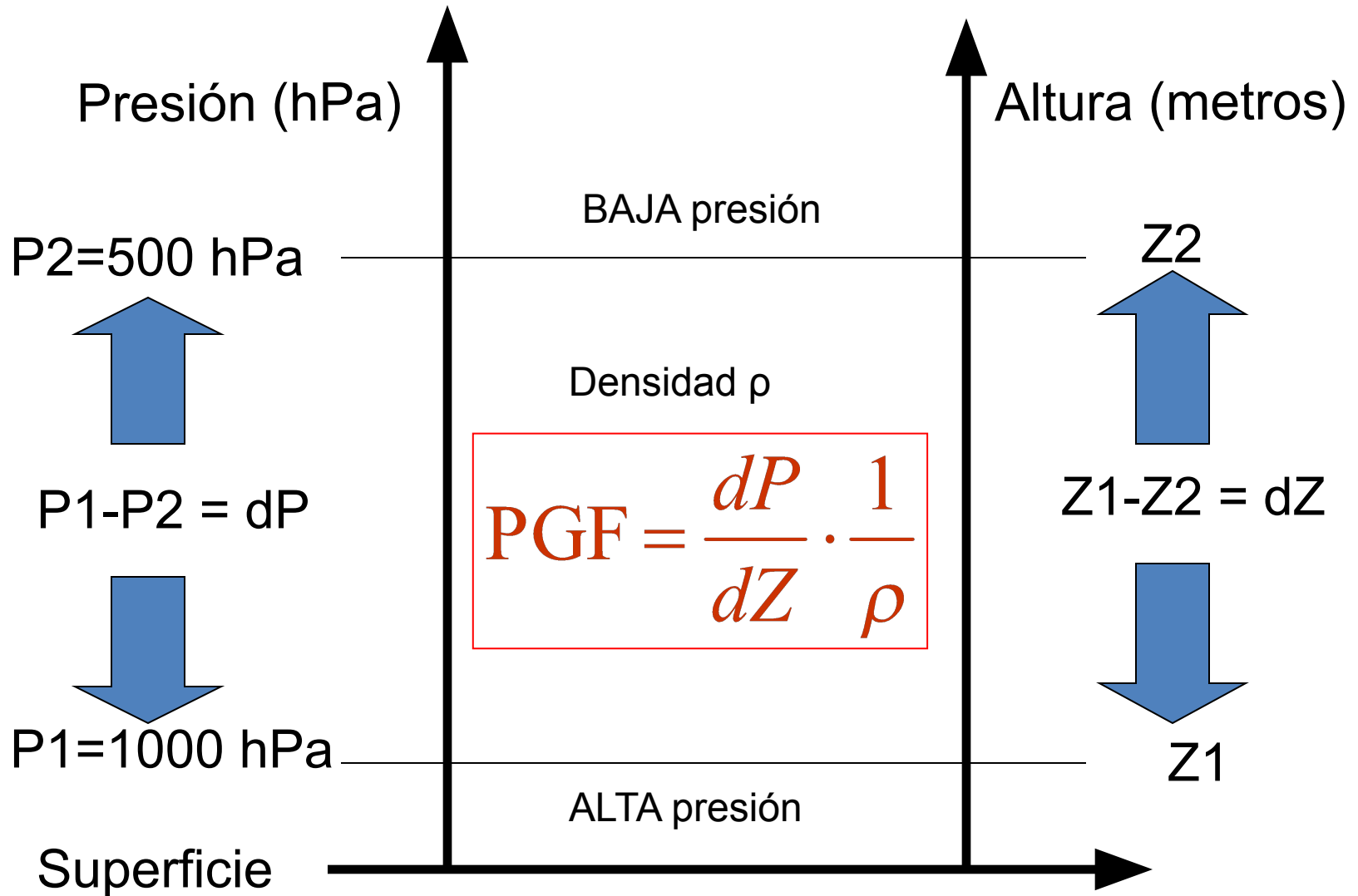
La F de gravedad es proporcional a la masa, ($F = m a$). En una Atmósfera densa (en superficie) se experimenta un aumento del efecto de la masa. Para mantener el equilibrio se debe conseguir un gradiente vertical superior que equilibre la gravedad.

$$dP / dz = -\rho g$$

La tasa de descenso de la presión (P) con la altura (z), iguala al producto de la densidad del aire (ρ) por la gravedad (g).

Como la gravedad podemos asumir que es constante, el equilibrio depende de la densidad.

Fuerza de gradiente vertical



Ejemplo. Dos masas de aire, a 308 K (35°C) y 278 K (5°C), ambas con 1000 mb de presión (100.000 Pa). ¿cuál es más densa?

$$P = \rho R T, \text{ es lo mismo que } \text{Densidad } (\rho) = P / RT$$

- Densidad = 100.000 Pa / (287 Julios / Kg K) (308 K) = **1.13 kg m⁻³ (a 35°C)**
- Densidad = 100.000 Pa / (287 Julios / Kg K) (278 K) = **1.25 kg m⁻³ (a 5°C)**,

la diferencia es el 11% en favor de la columna fría

La conversión y simplificación de unidades es como sigue

- (P) es **Pascal = N / area = kg m⁻¹ s⁻²**
- (RT) es (**Julios Kg⁻¹ K⁻¹**) (K) = **{(kg m² s⁻²) kg⁻¹ K⁻¹} K**

$$\text{En unidades de } \underline{\text{densidad}} = \text{kg m}^{-1} \text{ m}^{-2} = \mathbf{kg \text{ m}^{-3}}$$

En resumen, **la densidad del aire aumenta si la temperatura desciende.**

Aún más, el contenido de vapor modifica esta relación, pues aporta su propia presión parcial. Pero su efecto es paradójico, pues el aumento de vapor de agua produce menos densidad, ya que su peso molecular es menor que el de otros gases desplazados.

Y EL GRADIENTE ES

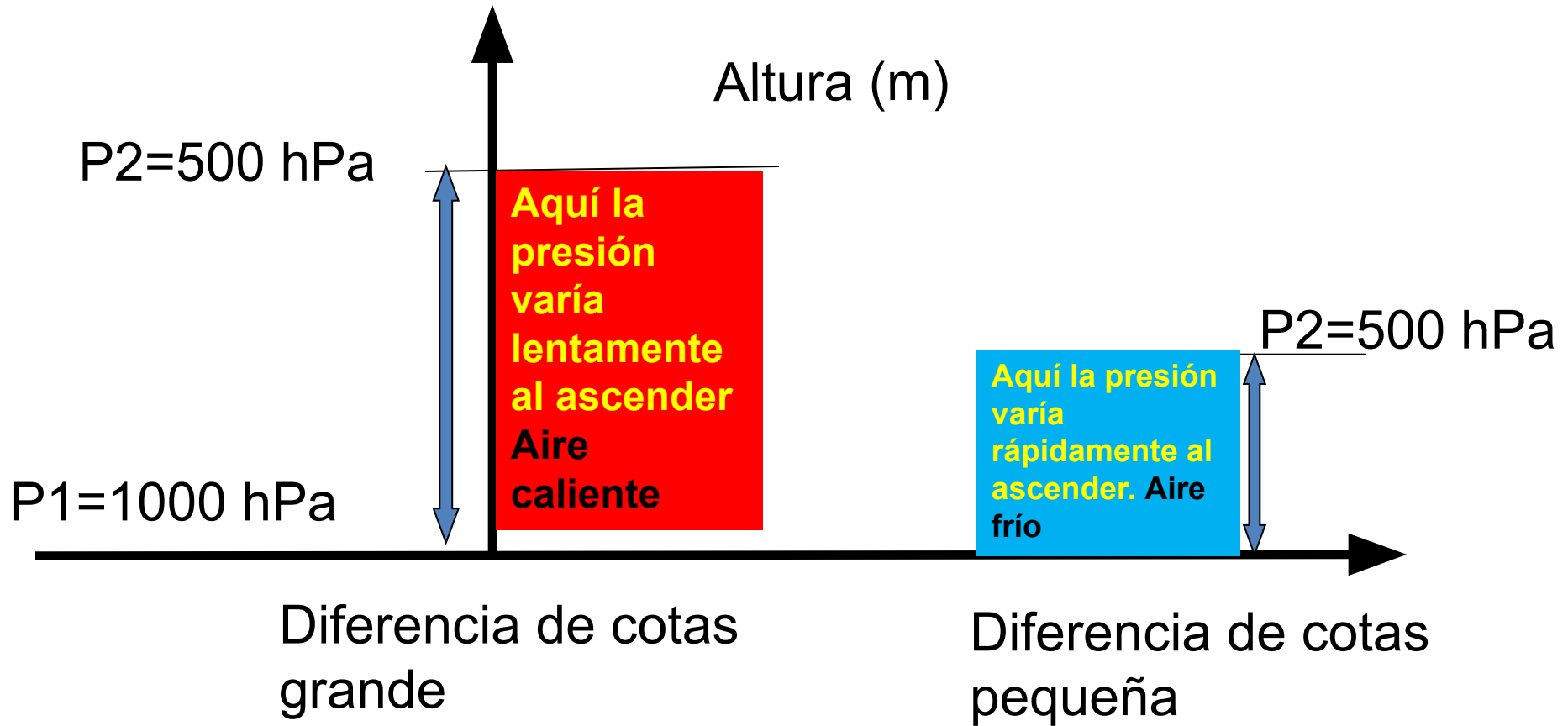
$$dP / dz = -\rho g$$

- $dP / dz = 1.13 \text{ kg m}^{-3} \times 9.8 \text{ m s}^{-2} =$
 -11.07 Pa m^{-1} gradiente de ascenso (caliente)
- $dP / dz = 1.25 \text{ kg m}^{-3} \times 9.8 \text{ m s}^{-2} =$
 -12.25 Pa m^{-1} gradiente de ascenso (frío)

$$\text{Unidades } \text{kg m}^{-3} \text{ m s}^{-2} = \text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-2} = \text{Pascal m}^{-1}$$

Los signos negativos de la expresión se deben a que la presión decrece con la altura

Balance hidrostático



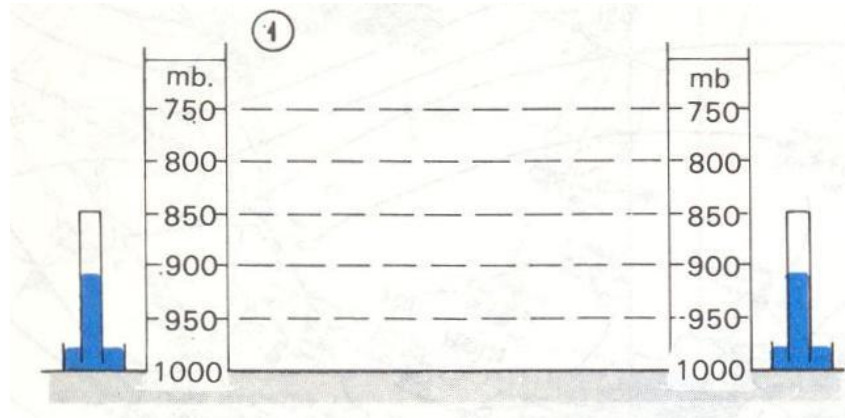
$$dP = \rho g dZ$$

Es decir, el cambio de presión con el cambio de altura está directamente relacionado con la densidad del aire (considerando los cambios de la gravedad negligibles).

En consecuencia: a medida que aumenta la densidad, el cambio de la presión en una columna de aire se acelera

- **En aire frío (más denso) la presión decrece más rápidamente con la altura que en aire cálido.**
- (Por ello, en los casquetes polares la tropopausa se localiza a menor altura que en el Ecuador)

Calentamiento/enfriamiento de una columna de aire.



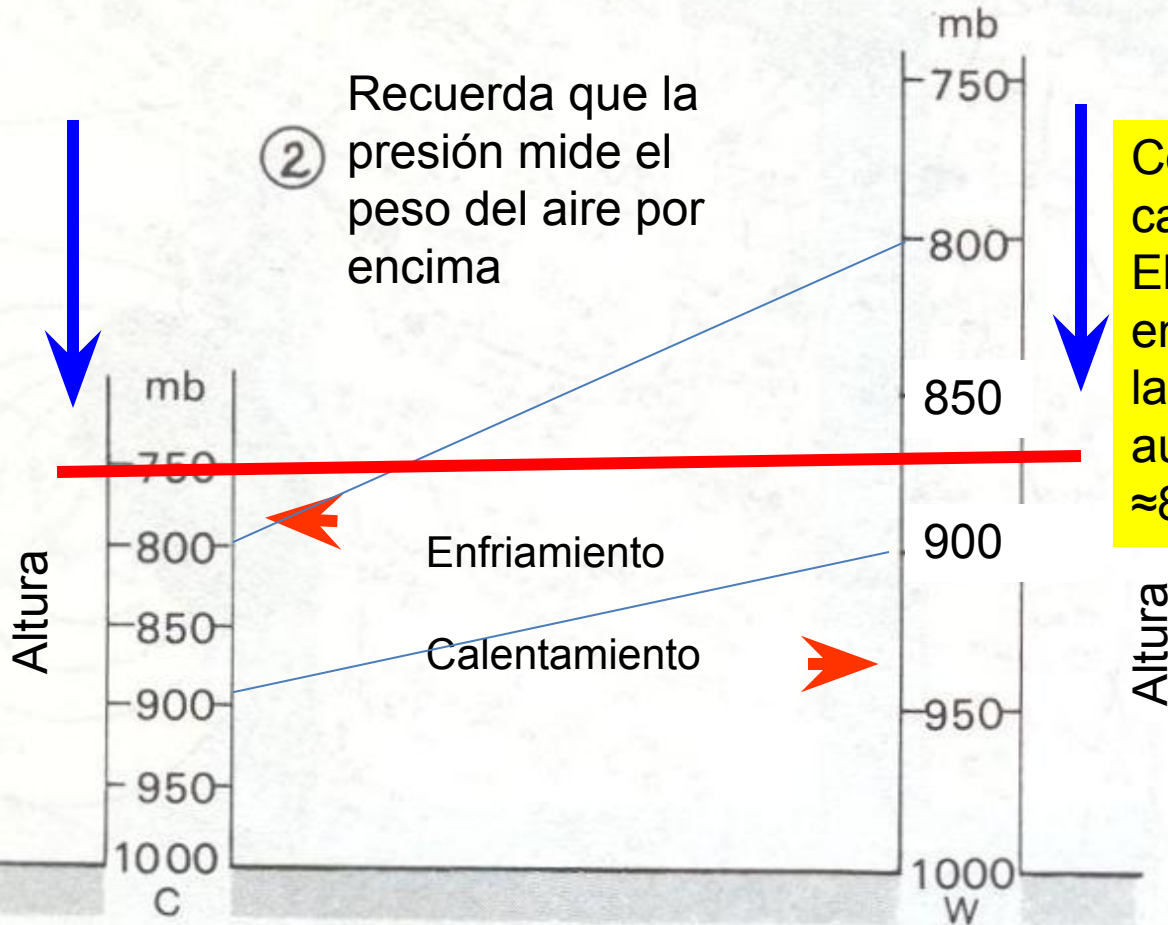
1. El Calentamiento evapora agua y DISMINUIRÁ LA DENSIDAD. La falta de calor llevará a la contracción, pero para mantener la presión total **la masa se expandirá**, (Ley de Charles $T = V$). Recordemos que se mantiene la presión.
2. Los cambios de presión en altura son lentos. El gradiente de presión en altura se atenúa

Enfriamiento en una columna de aire

1. El enfriamiento condensa el vapor de agua y se libera calor. El agua condensada AUMENTA DENSIDAD que compensa la dilatación provocada por el aumento de temperatura al liberarse calor latente. Para mantener la presión, dado que la masa permanece, la columna debe CONTRAERSE (Ley de Charles $T=V$).
2. La altura a la que se encuentra cualquier valor de presión respecto a la columna calentada es menor por la contracción
3. Los cambios de presión con la altura son rápidos. El **gradiente vertical aumenta**.

Cambios en el gradiente vertical en columnas enfriadas y calentadas ¿dónde cambia más rápidamente la presión al ascender? ¿a una altura dada dónde hay más presión?

Columna enfriada. Aquí el aire por encima de la línea roja “pesa” 750 mb

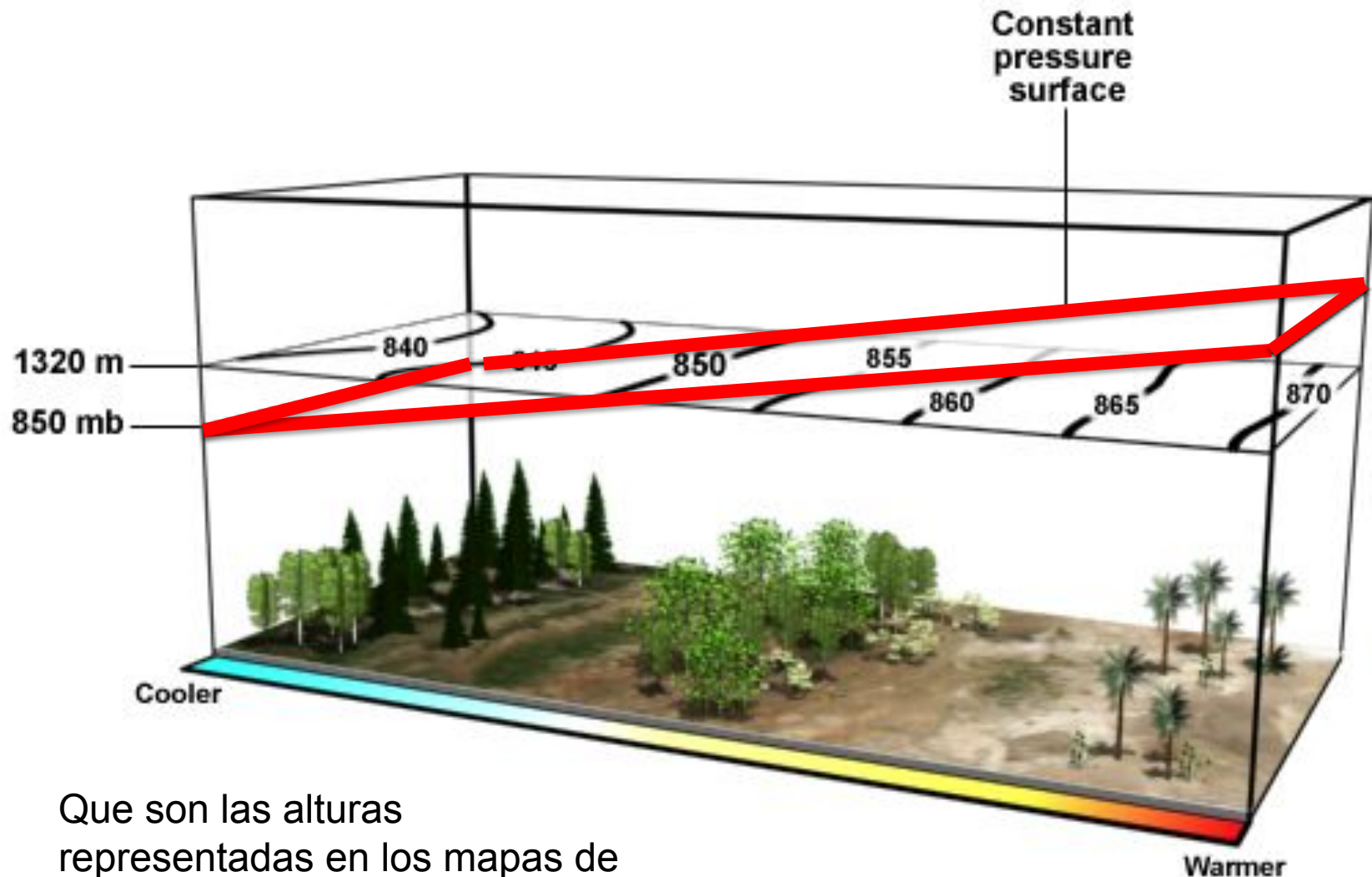


Columna calentada. El aire por encima de la línea roja aún “pesa” ≈ 875 mb

Conclusiones

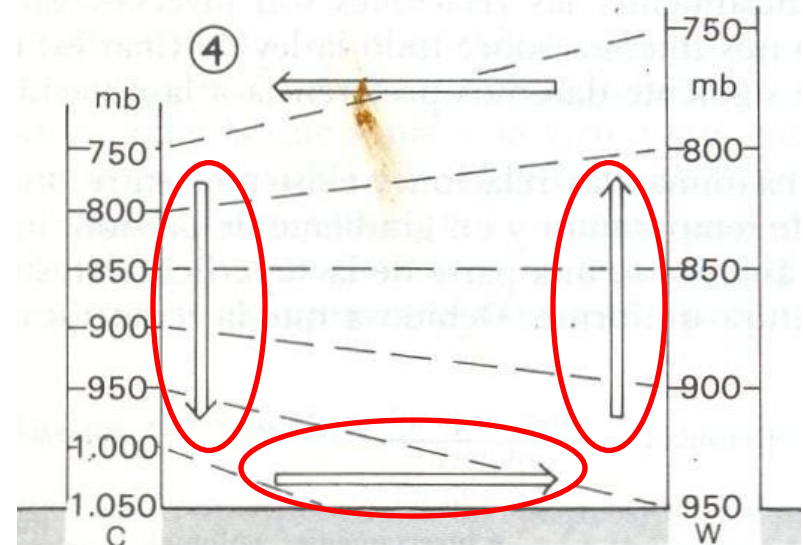
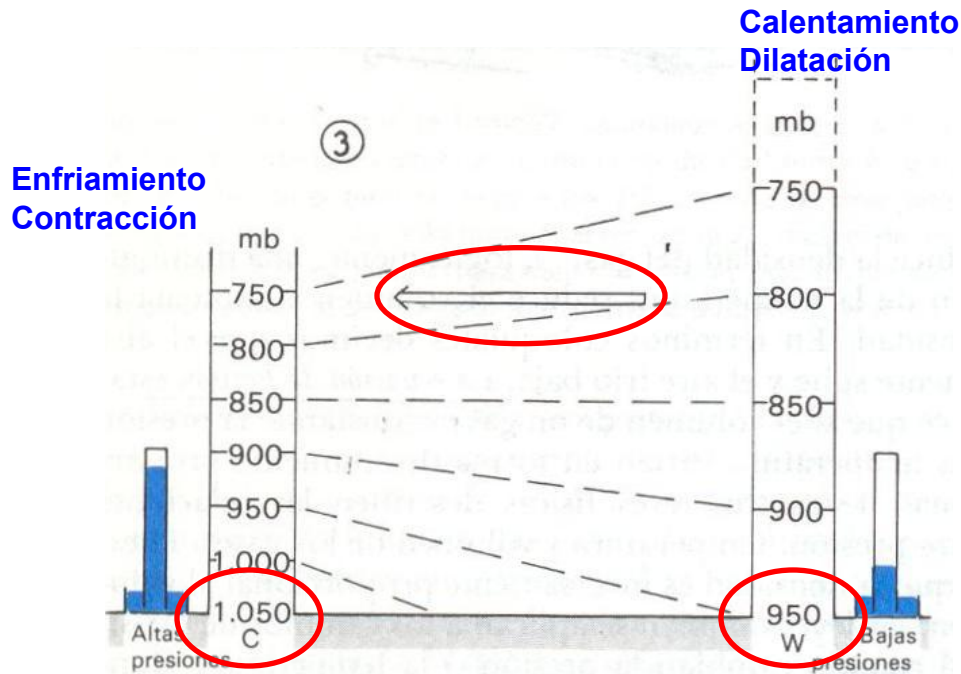
1. El **calentamiento** de la atmósfera origina una dilatación de la columna de aire y un descenso del gradiente vertical de la Presión.
2. El **enfriamiento** produce el efecto contrario
3. **A presión constante,**
 - El aire es más **denso** y pesa más cuanto más frío sea
 - El **gradiente** de presiones en vertical es más fuerte en aire frío
 - **A determinada altura la presión es más elevada en la masa calentada**
 - El aire cálido puede generar altas relativas en altura y viceversa
 - En general aire cálido tiende a ascender y viceversa

De modo que la misma presión (plano inclinado) se alcanza a diferentes alturas sobre el nivel del mar



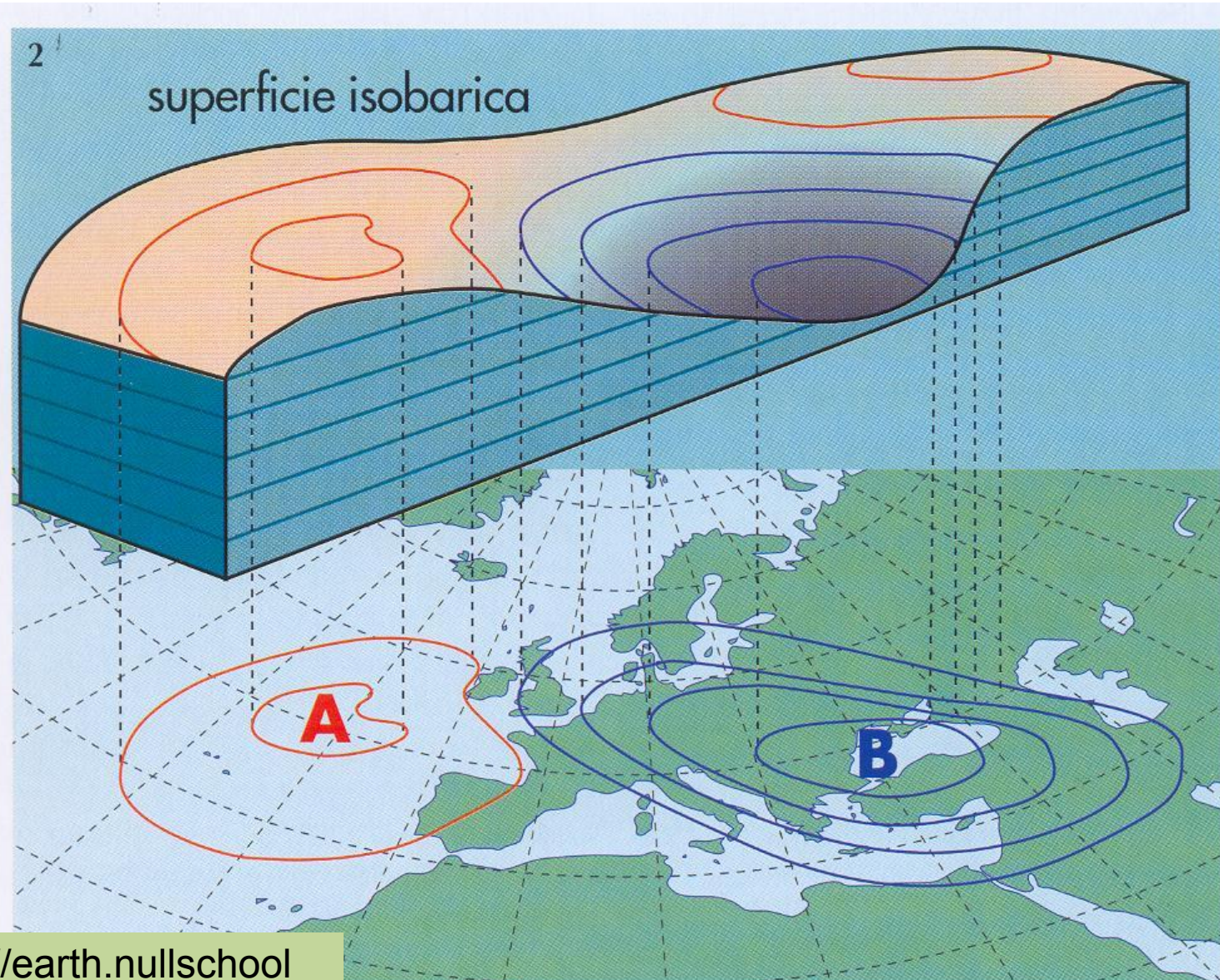
Que son las alturas representadas en los mapas de presión de 500 hPa, 800 hPa etc

Los cambios en el gradiente vertical en columnas enfriadas y calentadas dan lugar a movimientos de divergencia y convergencia en altura.

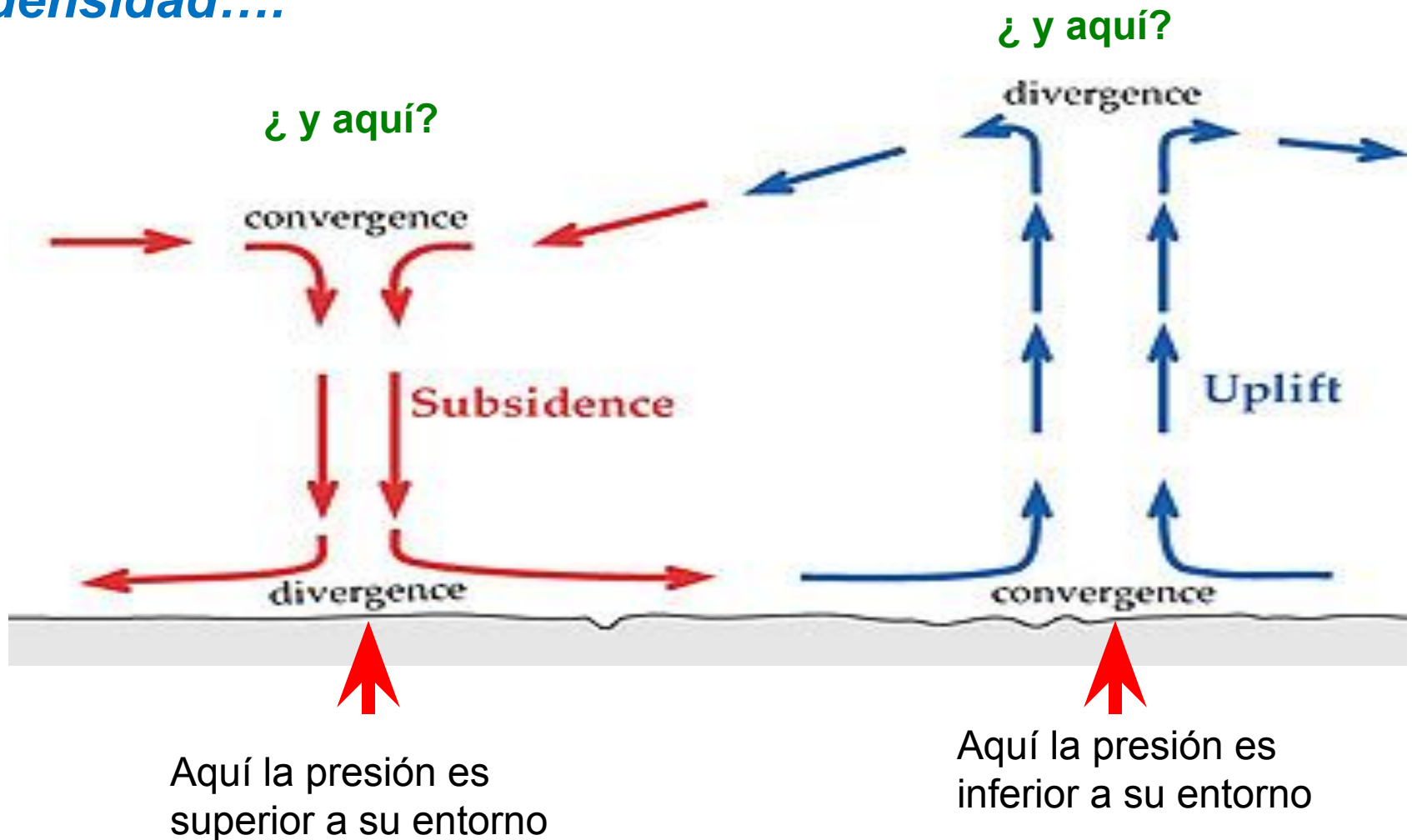


Entre ambas columnas existen diferencias de presiones en altura, que se tratarán de compensar desplazando aire desde donde la presión es superior (columna calentada), estableciendo la llamada célula térmica

Mapas de altura. Las relaciones superficie altura

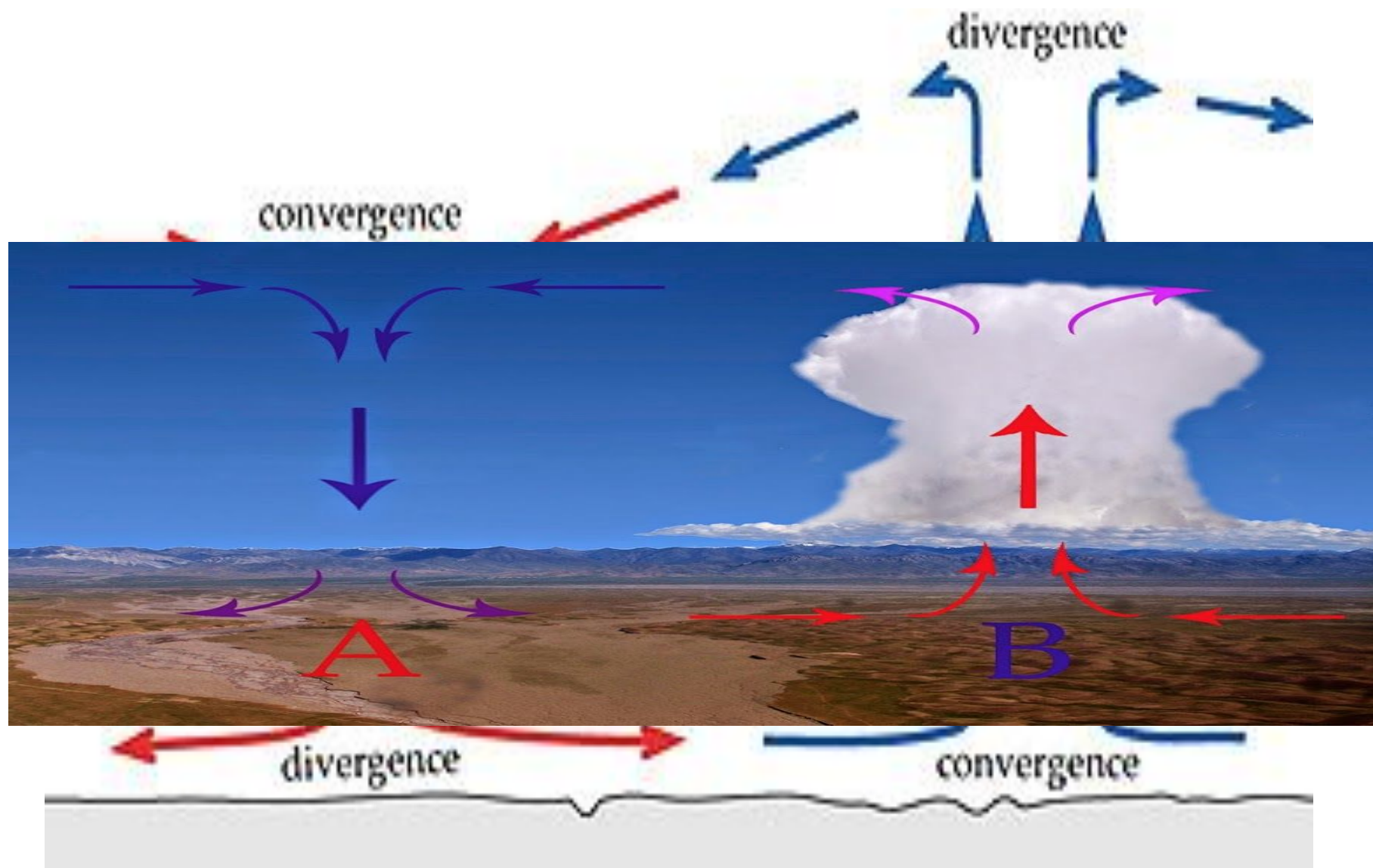


Cambios en el gradiente vertical en columnas enfriadas y calentadas *Origen de movimientos por divergencia y convergencia. Pero convergencia-divergencia varían la densidad....*



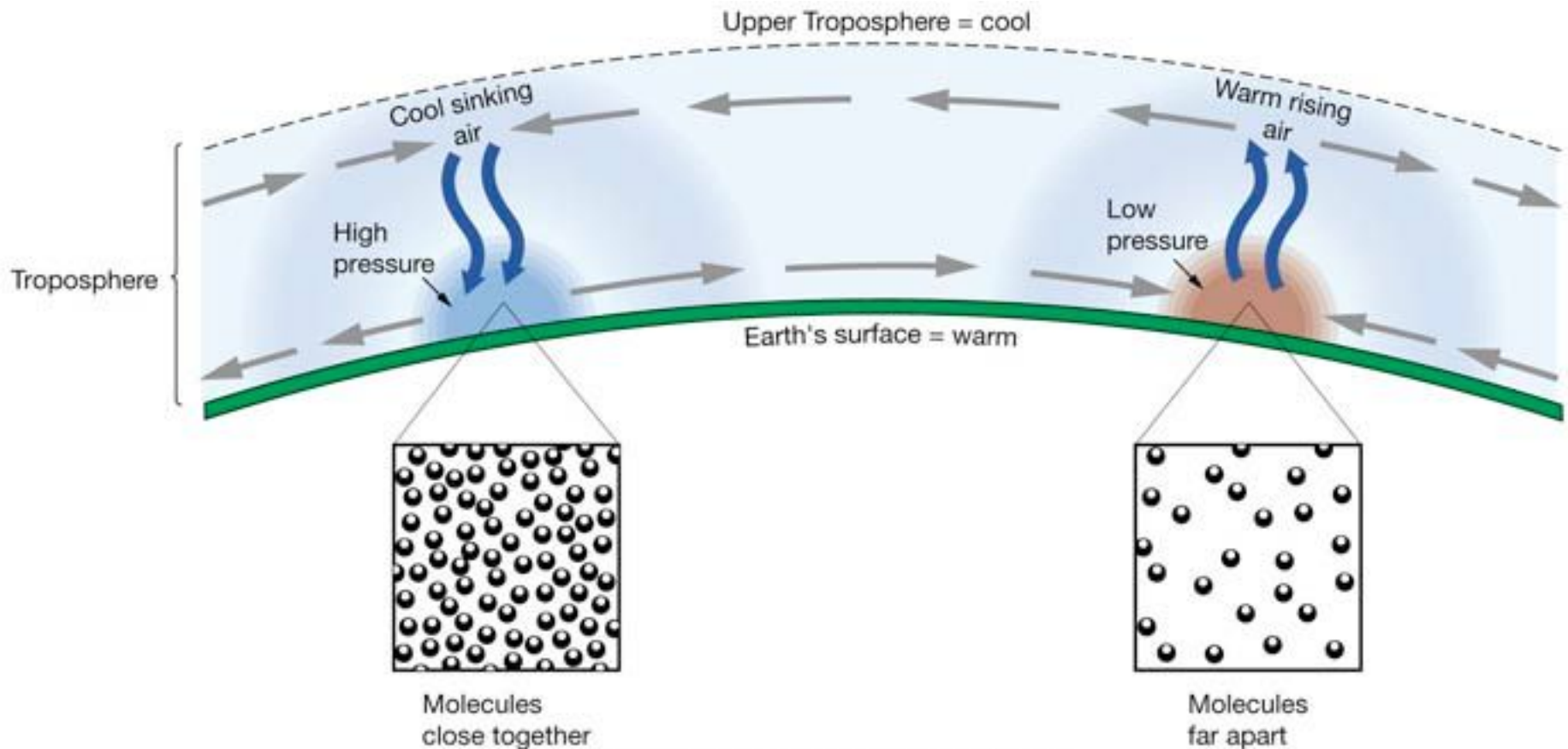
Consecuencia: Convergencia y Divergencia

- Las diferencias de presión en la horizontal o los cambios de velocidad producen un movimiento de altas presiones (**divergencia**) hacia las bajas (**convergencia**)
- La convergencia **aumenta** la **densidad** y viceversa
- El aporte o la pérdida de aire en superficie debe compensarse con **movimientos verticales** (siempre mucho más lentos que los horizontales) de ascenso o descenso
- Consecuencia **altas y bajas presiones de origen dinámico y térmico (relaciones superficie altura)**



Un avance de lo que vendrá después.

- Calentamiento intertropical, ascenso de aire cálido,
- Enfriamiento polar, descenso aire frío,
- Cambios de presión, dirección vientos...



En un ascenso o descenso la masa de aire modifica su temperatura por

dilatación o contracción (volumen) en su entorno.

$$P = T$$

**abático (T8) y
ás común
itaciones (T7)**

PERO

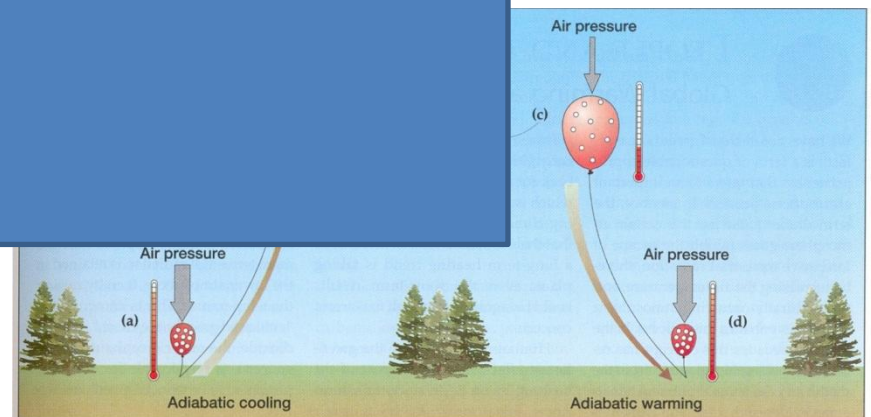


Figure 4-15 As the thermometers next to the balloons indicate (a, b), rising air cools adiabatically due to expansion and (c, d) descending air warms adiabatically due to compression. No heat transfer is involved in either process.