

Capítulo 4.

El viento

4.1 Definición

4.2 Velocidad y dirección del viento

4.3 Circulación general de la atmósfera

4.4 Fuerzas que actúan sobre el aire en movimiento

4.5 Barlovento y sotavento

4.6 Medición del viento

4.1 Definición

El viento es el movimiento de una masa de aire en sentido horizontal, el cual puede alcanzar velocidades superiores a 50 m/s. Cuando el desplazamiento se realiza en sentido vertical, toma el nombre de corriente *ascendente* o *descendente*, dependiendo de si el movimiento se genera desde o hacia la superficie (figura 23).

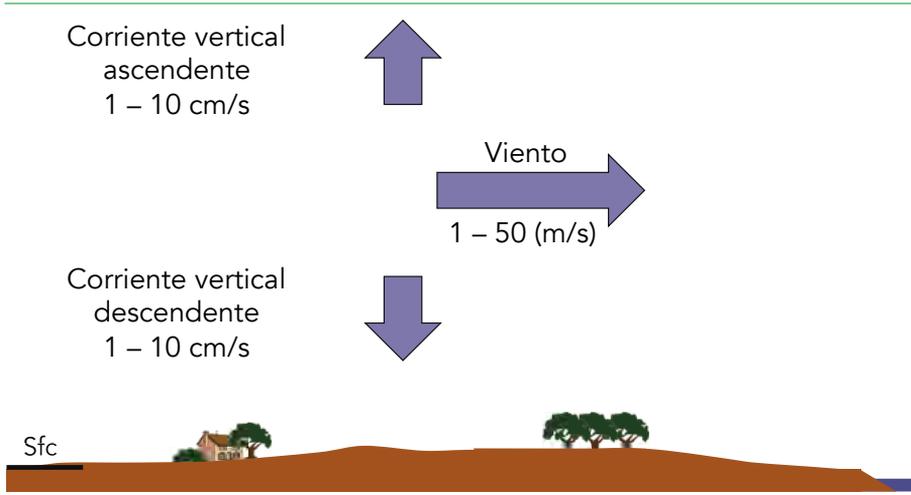


Figura 23. Diferencias entre viento y corriente.

Fuente: elaboración propia.

Las diferencias en el nombre se deben a que el movimiento del aire en sentido horizontal supera en dos órdenes de magnitud a los desplazamientos verticales, de los cuales solo unos pocos superan los 10 cm/s. Hay dos parámetros importantes relacionados con el viento: la velocidad y la dirección.

4.2 Velocidad y dirección del viento

La velocidad del viento está directamente influenciada por la temperatura: a mayor diferencia de temperatura, mayor velocidad del viento. Las unidades más utilizadas para medir la intensidad del viento son los metros por segundo (m/s), kilómetros por hora (km/h) y los nudos (kt), este último equivalente a ~0,5 m/s o ~1,85 km/h.



Normalmente, en Colombia los vientos son más fuertes de las 15:00 a las 19:00 horas y encuentran su mínimo a las 07:00 horas. Según el IDEAM (2005), la velocidad media anual en superficie alcanza en general valores inferiores a los 15 km/h.

El viento es causado por la diferencia de presiones; se desplaza desde zonas de alta a baja presión, las cuales se originan a su vez por las diferencias de temperaturas ya mencionadas. Se llama dirección del viento al punto cardinal de donde proviene el viento; los principales son el norte (N), sur (S), este (E) y oeste (W). Se consideran hasta 32 puntos cardinales, aunque los más usados se relacionan en la figura 24.

Sigla	Punto cardinal	Grados
N	Norte	0°
NNE	Nornoreste	22,50°
NE	Noreste	45,00°
ENE	Estenoreste	67,50°
E	Este	90,00°
ESE	Estesureste	112,50°
SE	Sureste	135,00°
SSE	Sursureste	157,00°
S	Sur	180,00°
SSW	Sursuroeste	202,50°
SW	Suroeste	225,00°
WSW	Oestesuroeste	247,50°
W	Oeste	270,00°
WNW	Oestenoroeste	292,50°
NW	Noroeste	315,00°
NNW	Nornoroeste	337,50°

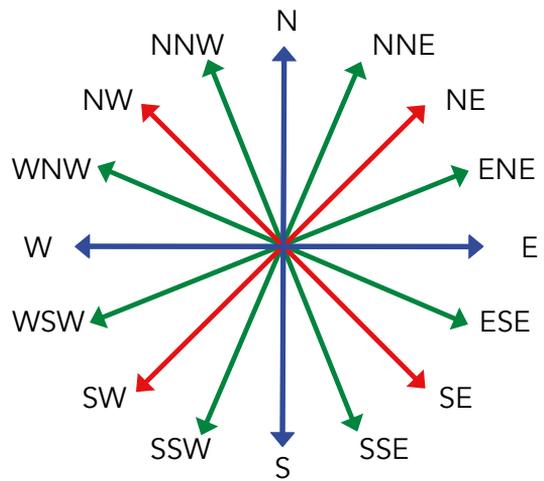


Figura 24. Puntos cardinales y rosa de vientos.

Fuente: elaboración propia.

4.3 Circulación general de la atmósfera

Desde el punto de vista de conservación de energía, la circulación general de la atmósfera es el resultado de la búsqueda de equilibrio debido a las diferencias de radiación solar con la latitud, a la rotación de la Tierra, y a la distribución particular de los continentes y los océanos. Está dividida en *circulación en superficie* y *en altura*.

La circulación general en superficie está definida de la siguiente manera:



- Una franja de viento en la zona tropical desplazándose del E al W. Allí, los vientos alisios del noreste chocan con los del sureste. El aire asciende, se enfría y se condensa, con lo cual se forman nubes de tormenta (*cumulonimbos*) a lo largo de toda la franja y se da lugar a la *Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT)*. León *et al.* (2000) presentan un detallado análisis de la influencia de la ZCIT en Colombia.
- Una franja de viento en la zona de las latitudes medias que se extiende, en promedio, desde 35° hasta los 65° de latitud, y que se desplaza del W al E conocida como *Vientos del oeste*.
- Una franja de viento en las zonas polares desplazándose del E al W, conocida como *Vientos polares del este*.

La circulación general en altura está principalmente definida por:

- Tres franjas de viento en dirección opuesta a sus contrapartes en superficie.
- Una corriente en chorro polar que se desplaza de W a E, asociado al frente polar y al viento cerca de la tropopausa, procedente de los polos y las latitudes medias.
- Una corriente en chorro subtropical que se desplaza de W a E, asociada a la conservación de momento angular y al viento en altura, procedente del ecuador y de las latitudes medias.

El viento en superficie y el viento en altura se vinculan en la dinámica de la atmósfera terrestre, la cual se realiza mediante lo que se ha denominado las celdas de Hadley, Ferrel y Polar (figura 25a y 25b). Estas celdas interactúan constantemente entre sí, principalmente por diferencias de temperatura y presión. El calentamiento en el ecuador eleva el aire y lo transporta hasta una región de alta presión en los trópicos. Allí, el aire desciende y se divide en dos partes; el aire que regresa al ecuador completa la celda de Hadley.

Al igual que la celda de Hadley, la celda polar se origina a partir de un gradiente de temperatura entre los polos y las latitudes medias. A unos 60° de latitud, el aire se eleva y fluye hacia los polos donde, a medida que se enfría, desciende hasta superficie y se devuelve hacia las latitudes medias.

El origen de la celda de Ferrel no es igual al de las celdas de Hadley y Polar. La segunda parte del aire ecuatorial que desciende en los trópicos se dirige hacia los polos y se encuentra con la celda Polar, lo cual origina el frente polar. El aire en estas zonas asciende y una parte regresa hacia los trópicos, lo que cierra la celda de Ferrel.

Las zonas de alta y baja presión mantienen una fuerte relación con la dirección del viento y el ascenso y descenso del aire. En la ZCIT y el frente polar, la presión es baja, el viento converge en superficie y asciende. En los trópicos y en los polos, la presión es alta, hay divergencia de los vientos en superficie y el aire desciende (figura 25a).



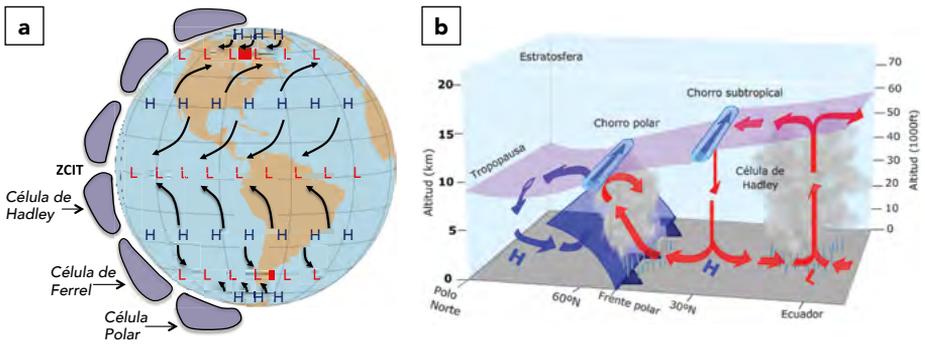


Figura 25. Circulación general de la atmósfera e interacción de las células de Hadley, Ferrel y Polar.
Fuente: Figura 25b tomada de E-ducativa CATEDU (2016).

Las variaciones al comportamiento teórico de la circulación general de la atmósfera están provocadas por las diferencias de temperatura –que producen zonas de alta y baja presión–, por la rotación de la Tierra –la cual causa que el flujo del aire se desvíe a la izquierda en el hemisferio sur y a la derecha en el hemisferio norte (fuerza de Coriolis)–, la fuerza centrífuga y la fuerza de rozamiento con la superficie terrestre.

4.4 Fuerzas que actúan sobre el aire en movimiento

4.4.1 Gradiente de presión

Es la diferencia de presión que existe entre dos puntos. Ésta causa movimiento de las partículas de aire desde la zona de alta presión a la zona de baja presión. Tómese como ejemplo la figura 26, en la cual se muestran dos tanques llenos de agua y separados por una pared. Si se abriera un orificio en la pared, el agua del tanque con mayor peso por unidad de área se desplazaría hacia el tanque con menor peso, en búsqueda del punto de equilibrio.

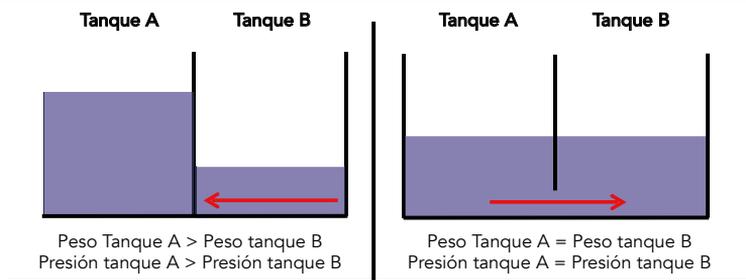


Figura 26. Esquema del movimiento del aire por efecto de la presión. Columnas de agua.
Fuente: elaboración propia.

4.4.2 Fuerza de Coriolis

Es la fuerza aparente que actúa sobre los cuerpos en movimiento a causa de la rotación de la Tierra y que es proporcional a la velocidad de la partícula. Coriolis tiende a desviar el viento hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur. La figura 27a representa una hipótesis de la circulación general atmosférica sin esta fuerza, y la figura 27b representa la circulación del comportamiento de los vientos con ella, tal como se anota en el numeral 4.3. Esta fuerza tiene su valor máximo en los polos y su valor mínimo en el ecuador.

68

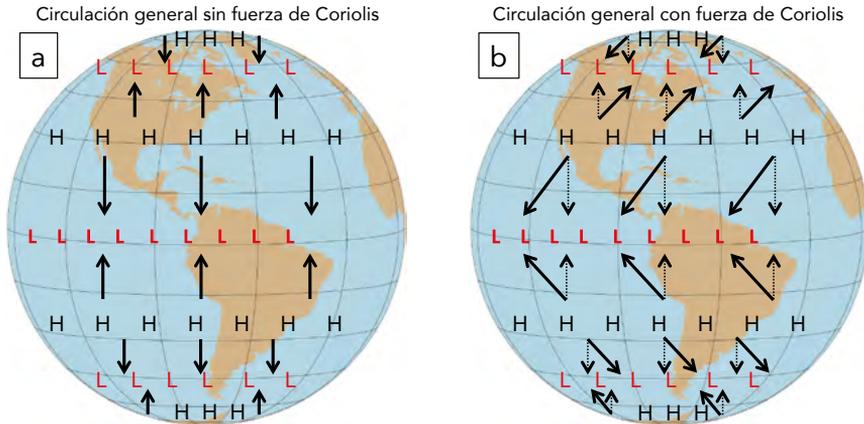


Figura 27. Influencia de la presión y fuerza de Coriolis en la circulación de la atmósfera. Fuente: elaboración propia.

4.4.3 Fuerza centrífuga

Debido a la velocidad angular (Ω), conocida comúnmente como la fuerza de rotación de la Tierra, se genera una fuerza centrífuga o inercia (contraria a la fuerza centrípeta), la cual produce una tendencia del aire a abultarse y acelerarse en el ecuador. La fuerza centrífuga contrarresta la gravedad real de la Tierra y causa que los cuerpos sobre la superficie se tornen más livianos. Cuanto más cerca del ecuador, mayor es la circunferencia que tienen que recorrer los cuerpos en 24 horas debido a que el radio latitudinal es mucho mayor y, en consecuencia, giran a mayor velocidad tangencial (figura 28).

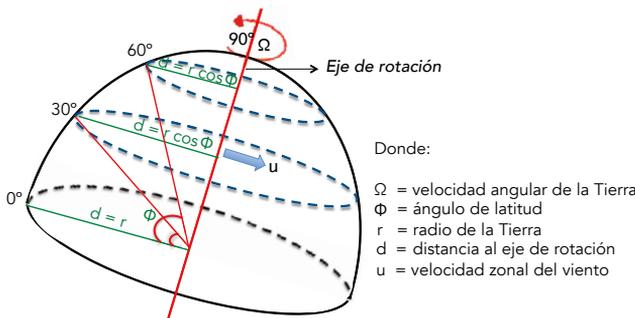


Figura 28. Velocidad de rotación de la tierra según la latitud. Fuente: elaboración propia.



Partiendo de un radio ecuatorial terrestre de 6374 km y considerando que Ω no cambia, la velocidad relativa del viento zonal puede calcularse según la latitud ϕ , lo que es lo mismo, a la distancia del eje de rotación. Para esto, se debe conocer que $360^\circ = 2\pi$ radianes y por lo tanto $1 \text{ rad} = 57,3^\circ$ o $1^\circ = 0,01545 \text{ rad}$. La velocidad angular (Ω) puede entonces calcularse como:

$$\Omega = \left(\frac{360^\circ}{24 \text{ h}} \right) \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{360^\circ} \right) = \frac{2\pi 57,3^\circ}{24\text{h}} = \frac{15^\circ}{\text{h}} = \frac{15(0,01545)}{\text{h}(3600)} = \frac{7,27 \times 10^{-5} \text{ rad}}{\text{s}}$$

Al conocer la velocidad angular y recordar que la distancia al eje de rotación es igual al radio de la Tierra por el coseno de la latitud, podría fácilmente completarse la tabla 8.

Tabla 8. Velocidad zonal según la latitud.

Latitud	Velocidad angular (rad/s)	Distancia al eje (km)	Velocidad zonal (km/s)
0°	$7,27 \times 10^{-5}$	6 374	0,46
30°	$7,27 \times 10^{-5}$	5 520	0,40
60°	$7,27 \times 10^{-5}$	3 187	0,23

Fuente: elaboración propia.

4.4.4 Fuerza de fricción

Es la fuerza que se opone al movimiento, la cual se produce por las imperfecciones del terreno (figura 29). Estas imperfecciones generan turbulencias fuertes que dificultan la operación de aeronaves, sobre todo en ángulos pronunciados (mayores a 15°), en las que al aire se le imposibilita seguir los contornos de la superficie.

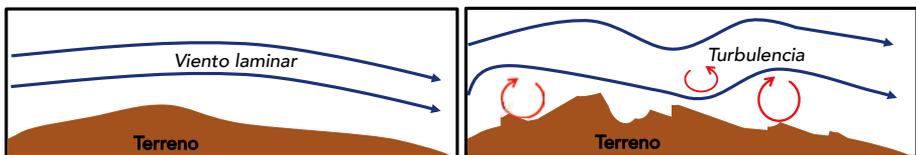


Figura 29. Viento laminar y turbulencia inducida por el terreno.

Fuente: elaboración propia.

En el viento turbulento, las partículas de aire se desplazan de forma desordenada con respecto a su dirección e intensidad. Como el aire puro es transparente, resulta imposible ver sus movimientos, lo cual provoca situaciones desagradables y peligrosas a las aeronaves que operen muy cerca al terreno. Para sortear este efecto, se debe evitar sobrevolar zonas montañosas, zonas con diferentes usos y tipos de suelo y zonas con altas diferencias de temperatura. En Colombia, las aeronaves están expuestas a este fenómeno por debajo de los 8 000 ft de altura, dependiendo de la zona geográfica donde se encuentre.

4.5 Barlovento y sotavento

70

El *barlovento* es la dirección desde donde sopla el viento. En relación con una montaña, cuando se habla de viento de barlovento, se hace referencia al viento presente en la cara de la montaña que primero lo recibe. Por lo general, se producen nubes orográficas causadas por el choque de las masas de aire contra el terreno, su ascenso, enfriamiento y posterior condensación (figura 30). Esa parte de la montaña suele contener mucha humedad, vegetación y lluvias.

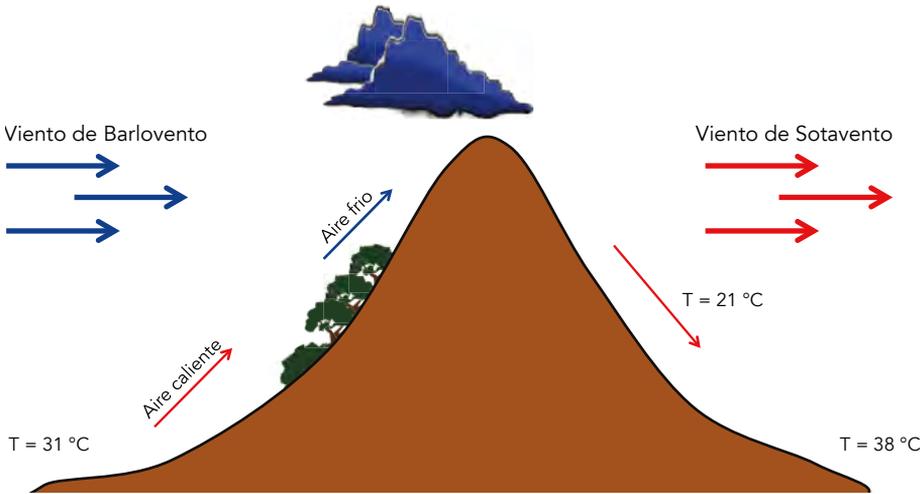


Figura 30. Barlovento y sotavento.
Fuente: elaboración propia.

Por su parte, el sotavento es el lugar hacia donde sopla el viento. Cuando se habla de viento de sotavento, se hace referencia al viento presente en la cara de la montaña por donde se aleja el viento. En esa parte de la montaña se producen corrientes descendentes y secas, la vegetación es muy pobre, y puede encontrarse turbulencia de moderada a fuerte producto de las ondas de montaña.

4.6 Medición del viento

El viento tiene velocidad y dirección. En los aeródromos, el viento se mide a 10 m de altura; es tan importante en aviación que es la única variable que se mide en las dos cabeceras de la pista. El sistema de la FAC se esquematiza en la figura 31, en la cual se observa que el controlador de tránsito aéreo tiene y usa tres medidas de viento:

Viento instantáneo: se mide directamente por el instrumento instalado en la cabecera de la pista. Se actualiza cada 15 segundos.

Viento promedio últimos 2 minutos: se utiliza para dar información a los pilotos que están próximos a realizar una maniobra de despegue o aterrizaje.



Viento promedio últimos 10 minutos: se incluye en los reportes aeronáuticos que el controlador genera de forma horaria.

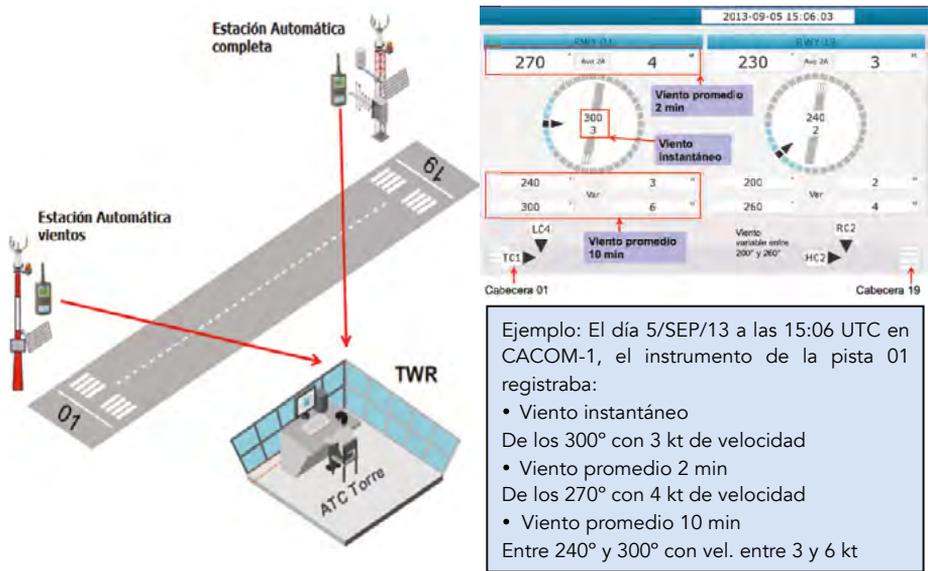


Figura 31. Software AVIMET de medición del viento en la FAC.

Fuente: elaboración propia.



Capítulo 5.

Presión atmosférica

- 5.1 Definición
- 5.2 Densidad del aire
- 5.3 Variaciones en la presión atmosférica
- 5.4 Principales formaciones isobáricas
- 5.5 Uso de la presión en aviación

5.1 Definición

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el peso de la atmósfera terrestre sobre cada unidad de superficie. La presión atmosférica sobre un punto se explica por el peso del aire que se encuentran sobre ese lugar específico desde superficie hasta el tope superior de la atmósfera. A medida que se gana altura, se superan las capas más bajas –que a su vez son bastante más densas–, de tal manera que la presión disminuye con la altura. Desde el punto de vista histórico, la primera unidad empleada para medir la presión atmosférica fue el *milímetro de mercurio* (mmHg). El experimento de Torricelli que demuestra la existencia de la presión atmosférica (figura 32) consiste en lograr equilibrar el peso de la columna de aire sobre un punto, con el peso de 760 mmHg, en condiciones de una Atmósfera Estándar Internacional (ISA).

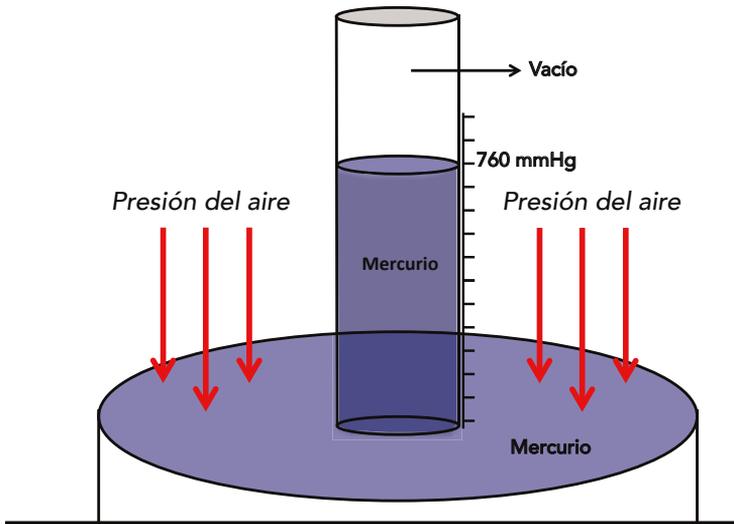


Figura 32. Experimento realizado por Torricelli.
Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, para efectos prácticos, era más conveniente pasar una unidad de longitud (mmHg) a unidades de presión (mb), utilizando las siguientes fórmulas:

- 1 $V = A h$
- 2 $M = \rho V$
- 3 $F = M a$
- 4 $P = F / S$

Donde:

V = volumen	M = masa	P = presión
A = área	ρ = densidad	S = superficie
h = altura	F = fuerza	a = gravedad

