

POR QUE NON CAEN AS NUBES? POR QUE CHOVE CANDO CHOVE? QUE CONDICIÓNS FÍSICAS DETERMINAN O MOMENTO DA CHOIVA?

DE LA VIÑA VARELA, JOSÉ MARÍA
vinava@telefonica.net

Unha gota de auga pesa unhas mil veces máis que o mesmo volume aire. Entón, por que non caen das nubes no momento de formarse?

1. Unha pequena introdución

Chama poderosamente a atención que se nos paramos a reflexionar sobre o peso dunha gota de auga, e o peso dun mesmo volume de aire circundante, como se pode explicar, como comprender que a pinga de auga no caia ó chan inmediatamente? Nas miñas clases de EXB e BUP tiña por costume buscar exemplos cotiás, que estando ó noso redor, desen conta dos múltiples exemplos que nos proporciona a Natureza de comportamentos, que poden ser explicados pola Ciencia, e que, por tanto, teñen un interese inmediato nas disciplinas de Física, Química e Matemáticas, para explicar dito comportamento. Tal é o caso de *por que non caen as nubes*, pero tamén teño falado de *por que o ceo é azul*, *por que os planetas son redondos a partires dun certo tamaño*, *por que non caen os habitantes que están “abaixo”* (no hemisferio Sur), *por que os paxaros non se electrocutan ó pousar sobre as liñas de alta tensión*, *por que o ceo se pon vermello na saída e na posta diaria*, e así máis exemplos que non poño aquí por extensión. Buscando unha explicación de contido científico, comecei a pescudar en Internet sobre unha explicación convincente de por que non caen as gotas de auga dunha nube, e mesmo como se forma. Para miña sorpresa non atopei ningún artigo que abondara neste campo; dando, en ocasións, explicacións case absurdas e moi pouco convincentes, cando non eludindo unha explicación máis rigorosa. Mesmo nos “asesores científicos” de certos xornais do país non encontrei explicacións formalmente serias e pormenorizadas do fenómeno da choiva. Púxenme pois a estudar que pasaba no nacemento e morte dunha pinga, e deime de cara coa aparición dun contraste entre as dúas forzas significativas (hai máis, claro) que explican ese comportamento. E aí foi cando descubrín que unha forza e maila outra tiñan unha dependencia do radio da pinga, que variaba entre o cadrado e o cubo da mesma. Iso levoume á explicación da fenomenoloxía real da gota de choiva, a medida que vai medrando. Non atopei ningún traballo publicado que dese conta desta explicación, e pareceume oportuno desenvolve-lo nun artigo. Así naceu este pequeno traballo.

2. Aire húmido

O planeta Terra é o único do Sistema Solar que ten na súa superficie unha infrecuente cantidade de auga en estado líquido. Tamén ten unha capa gasosa de poucos km á que chamamos atmosfera. Nesa atmosfera, a auga líquida ten a facultade ou posibilidade de se “disolver” como un terrón de azucre se dissolve na auga e “desaparece” como forma sólida. Dicimos, entón (da auga), que se evapora. Un proceso semellante é o coñecido de disolución: hai un disolvente (aire) e un soluto (auga). E o soluto adquire o estado físico do disolvente: a auga desaparece como líquido, e convértese nun gas, que chamamos vapor de auga. Este proceso dálle ó aire unha nova condición: aire húmido.

A cantidade de auga que contén un volume determinado de aire húmido, mídese, entre outras formas, cunha magnitude chamada humidade relativa: HR (RH en inglés). Defínese como o cociente entre a presión de vapor de auga, nun momento dado, e a tensión de vapor da auga (presión de saturación, que aumenta coa temperatura): $HR = \frac{p_{H_2O}}{t_{vH_2O}}$, sendo p_{H_2O} a presión de vapor da auga nun momento e volume de aire determinado, e a t_{vH_2O} a tensión de vapor, ou presión de saturación da auga, fixa para cada temperatura. Vese pois que é unha magnitude adimensional, e por iso adóitase expresar en tanto por cen. Ollando a fórmula, constatamos que a HR medra se aumenta p_{H_2O} (numerador), que aumenta se metemos máis auga nese volume de aire; e diminúe (denominador) se aumenta a temperatura, da cal depende t_{vH_2O} , a tensión de vapor ou presión de saturación. Interésanos este segundo caso: o HR aumenta cando diminúe a temperatura (diminúe t_{vH_2O}), para unha mesma masa de aire. Este aire ten, pois, unha capacidade limitada de conter auga: a medida que se arrefría, aumenta o seu valor de HR, e cando este chega a 100 % o aire xa non pode conter máis auga no seu seo (dise que está **saturado**, xa que nese momento a $p_{H_2O} = t_{vH_2O}$). Deste xeito, insistimos, a HR é un indicativo da capacidade dunha masa de aire de conter máis auga, para unha temperatura dada. Un HR= 0 significa un aire **totalmente seco**, ou carente de humidade (auga no seu seo): o “recipiente” (volume de aire), está totalmente baleiro de auga, pero cábelles moita. Un HR= 100, indica un ambiente saturado de humidade; o “recipiente” está totalmente cheo: non admite máis auga, non se vai evaporar: ambiente moi húmido. A modo de exemplos, nos polos o HR vale en torno a un 5 % (valor baixo pero non debido á temperatura), o que xera unha tremenda sensación de sequidade: os ollos, o nariz, a boca e a pel sécanse rapidamente provocando unha grande incomodidade. Imaxínense en Marte cunha HR moi aproximadamente igual a cero. O caso contrario é estar nun ambiente saturado de humidade: HR= 100. Un pub pequeno, cheo de xente, no verán, con moi pouca ventilación, tal vez coa xente bailando, acada de contado un HR= 100, co cal xa non se pode evaporar máis auga: non “cabe”. Entón o suor da xente, deixa de cumprir o seu papel de alivio térmico: o líquido da pel non se evapora (non cabe máis auga na atmosfera circundante) polo que non se arrefría o corpo (540 calorías se rouban por cada gramo de auga evaporada), causando un quecemento excesivo e anormal do corpo: hipertermia. Acoramos; non “respiramos”, e pódese producir un temido golpe de calor.

3. Formación das gotas de auga

Quedemos coa idea de que o HR diminúe ó aumentar a temperatura, para un volume dado de aire. Coa mesma cantidade de auga no seu interior, unha masa deste aire que se fora quentando, diminúe o seu valor de HR, volvéndose máis seco, e por tanto con maior capacidade de conter auga gasosa. Pola contra, este valor de HR aumenta ó diminuír a temperatura; de maneira que é posible que se arrefriamos unha certa cantidade de aire húmido, imos acadar axiña o valor de HR= 100 % (este número non pode ser superado): **saturación**. E de seguir arrefriando, vaise

producir a condensación: o vapor de auga en exceso, pasa a estado líquido: pingas de auga. Aparece a auga líquida.

4. Movemento do aire húmido

Debido a baixa densidade e viscosidade do aire, en comparación con outros fluídos, o aire vaise poder desprazar con gran rapidez dun sitio para outro, por mor dun gradiente de presión ou de temperatura. De tódalas posibilidades, interézanos considerar o movemento vertical ou con compoñente vertical dunha certa masa de aire húmido, que vai conducir á **formación dunha nube**.

Hai, principalmente, tres tipos de movementos do aire que son quen de ter compoñente vertical, e polo tanto, van ser quen de orixinar nubes: a convección, a orografía e o movemento ciclónico.

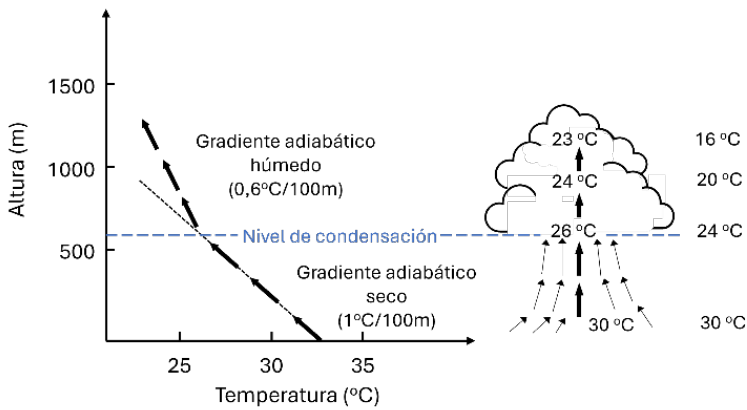


Figura 1. Diminución da temperatura do aire coa altura. Por encima do nivel de condensación, fórmanse as pingas de auga. Debido á convección, as temperaturas do aire que se eleva (interior da nube) son maiores ca as do aire circundante.

A convección, ou corrente térmica, é un tipo de movemento característico dos fluídos unicamente: cando unha porción de fluído está en contacto cunha superficie quente, dilátase, e por tanto, diminúe a súa densidade, polo que tende a subir no seo do fluído. E o seu sitio é ocupado polo aire frío que estaba ó seu redor, logo hai, simultaneamente, unha corrente ascendente e outra descendente: Chámase aneis de convección. Cómpre salientar, que se non houbera gravidade, ou se esta fora moi baixa, **non habería convección**.

O movemento orográfico, menos frecuente que o anterior, pero non por iso desprezable, prodúcese cando unha masa de aire húmido se despraza horizontalmente, e de súpeto se atopa

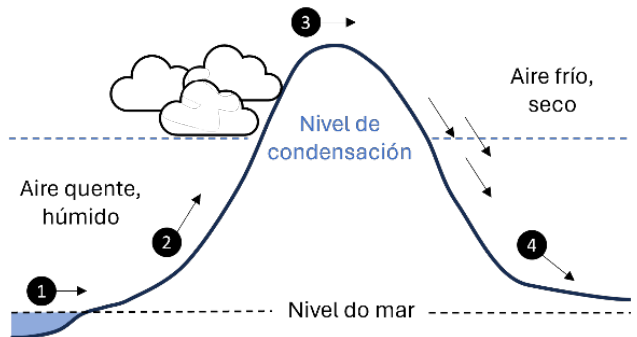


Figura 2. O aire quente e húmido do mar (1) ascende pola ladeira da montaña (2) e ao superar o nivel de condensación, fórmanse as nubes (3). O aire que desce ao outro lado da montaña (4) está seco.

cueña elevación de terreo: montaña ou cadea delas, que obriga á masa de aire a subir polas súas abas. E o facelo, arrefrían e polo dito, forman nubes. Case tódalas cordilleiras do mundo abundan en nubes no seu cumio, en calquera época do ano. Pola miña parte teño unha experiencia que aínda que non é, nin vai ser noticia de primeira plana, vén a conto co que estamos a falar. Na proximidade da miña vila, Carballo, hai na mesma costa lambendo o mar, unha pequena elevación de terreo duns trescentos e pico metros de altitude, que pretensiosa e altivamente se chama Monte Neme. Pois mira ti, tamén orgullosamente viste con frecuencia dalgunhas nubes; e cando fun facer fotos aló arriba, volvíñ coa cámara mollada; e non porque chovera.

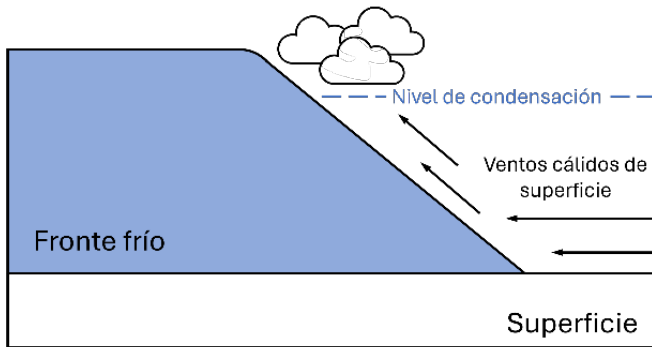


Figura 3. Fronte frío forza a subida do aire quente de superficie.

O terceiro tipo de movemento, aínda máis infrecuente que os anteriores, pero moi cobizado polos programas meteorolóxicos da TV, é o dos movementos ciclónicos: unha enorme masa de aire dun fronte frío atópase ou bate con outra de aire quente, ou máis quente, e por tanto con maior carga de humidade, e, facendo unha cuña debido á maior densidade do aire frío, “obriga” ó aire húmido a ascender, sobresaturándose de contado, e formando nubes.

5. A formación das nubes. O instante da choiva

Escollamos a convección como modelo para explicar o nacemento da nube e da choiva. A corrente térmica ascendente ou convección, xérase por unha diferenza de temperatura entre unha capa de aire húmido, e as capas superiores, como explicamos anteriormente. Sempre que haxa un gradiente térmico entre dúas capas de fluído, haberá convección. Non ten por que haber unha capa “quente” no sentido humano da expresión: se unha capa de aire húmido está a cinco graos baixo cero, e a capa superior está a seis graos baixo cero, ou mesmo a 0,21 graos máis fría, vaixe producir a convección. A capa de -5 graos, que é a “quente”, ascenderá cara as superiores. Hai convección mesmo nos Polos. Só cambia a intensidade.

Agora ben, a temperatura do aire da atmosfera descende un grao centígrado cada 100 m de altura, de media. Entre outras razóns está o arrefriamento adiabático, causado pola diminución de presión do aire, a medida que ascende (menor peso de atmosfera). Esta baixada de presión, dá lugar á baixada de temperatura. O que se traduce que a HR dunha certa masa de aire húmida, ó arrefriarse vai aumentando o seu HR, ata que acada o valor máximo do 100 %. Tiñamos aire húmido, cargado de vapor de auga. Esta auga está en estado gasoso, por tanto non molla, nin se ve, ni reflicte a luz. E de repente, ó chegar a HR= 100, **punto de rosada**, parte da auga gasosa, pasa a auga líquida. E para iso é preciso que haxa no medio aéreo, unhas certas micro partículas, que veñen en chamarse **núcleos de condensación** (en adiante n.de c.). Se cadra por efecto da adhesión, forzas electrostáticas, ou por constituír un medio de disipación do calor de cambio de estado, producido na condensación, estes n.de c., actúan como catalizadores no paso de gas a líquido. Os n. de c. adoitan ser micro partículas sólidas ou líquidas provenientes do fume dos incendios, dos volcáns, dos desertos e mesmo da actividade humana. Lembra que a auga contida nun volume de aire, sobe continuamente en estado gasoso (vapor invisible) ata chegar a unha certa altura, na que a temperatura provoque o paso de gas a líquido. Nese instante aparecen as nubes e as pingas que a constituén. Nese intre as nubes e a auga, por primeira vez, fanse

visibles. É por iso que se pode advertir xusto debaixo das nubes como un plano, a partir do cal hai nubes, e por debaixo non. Chámase **Nivel de Condensación** (ver imaxes). É doado comprender que ese Nivel de Condensación é o plano onde se cumpre que $HR= 100\%$.

6. Que ocorre dentro dunha nube?

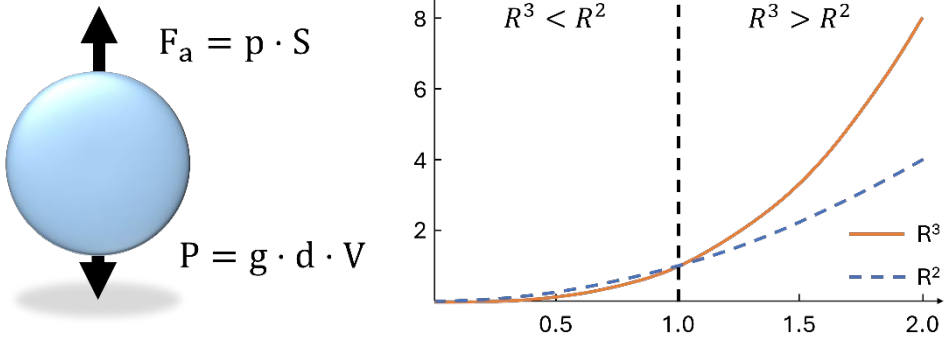


Figura 4. Forzas que actúan sobre a pinga. A forza de ascensión aumenta co radio ao cadrado, mentres que o peso faiño co radio ao cubo. A gráfica da esquerda compara o crecemento de R^2 co de R^3 . A medida que a gota crece, acádase o radio para o cal o peso é maior que a forza de ascenso, e a gota cae. (Figuras 1,2,3 e 4 cortesía do doutorando Manuel Gundín)

Podemos considerar as pingas de auga dunha nube, como aproximadamente diminutas esferas líquidas, por mor da tensión superficial, malia que a súa forma non é determinante nos procesos físicos vindeiros. Todas elas móvense aleatoriamente pola acción de distintas forzas que alí se manifestan, pero hai dúas que teñen un protagonismo principal: a forza ascendente que chamaremos F_a , e o peso das pingas (P), ámbalas dúas verticais. A F_a é a forza que xorde sobre a gota de auga, pola acción da **corrente** de convección ascendente que segue actuando. Imaxinemos un iate ou barco de vela, que se move pola acción do vento. Este vento xera unha presión p que actúa sobre a vela de superficie S . E o que sucede é $p \cdot S = F$, aparece unha forza. Canto maior sexa a superficie despregada (S), maior é a forza que empuxa a nave, para unha mesma presión (p) **do vento**. Así pois, o vento ascendente fai unha presión p sobre a superficie da esfera da pinga (S), que é a sección da esfera. Aparece a F_a (forza ascensional) = $p \cdot S$. A outra forza vertical é o peso da pinga de auga, de sentido oposto a F_a . Este peso é $P = m \cdot g$ (**m** masa da gota, **g**: aceleración da gravidade). Como $m = V \cdot d$ (V = volume da gota; d = densidade da auga), entón o $P = V \cdot d \cdot g$. Comparando estas dúas forzas podemos ver que a forza ascensional, medra coa S (que é proporcional a R^2). Mentres que o peso aumenta co volume (caso da esfera $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$). E tanto unha como o outro, dependen do radio (**R**) da pinga.

As pingas varían de tamaño: por coalescencia, por incremento da condensación ou por evaporación. Pero fixémonos que **se o radio da gota aumenta o dobre ($R' = 2 \cdot R$), a superficie da mesma aumenta catro veces máis: $S \propto R^2$; $S' \propto R'^2 = (2 \cdot R)^2 = 4 \cdot R^2 = 4 \cdot S$**

Pero se o R aumenta o dobre, o volume da nova pinga (e polo tanto o peso) aumenta oito veces máis: $P \propto R^3$ e $P' \propto R'^3$ e como $R' = 2 \cdot R$, entón $P' \propto (2 \cdot R)^3 = 8 \cdot R^3 = 8 \cdot P$

Dito doutro xeito: ó aumentar o tamaño da pinga, o seu volume aumenta máis rapidamente ca súa superficie. O que quere dicir que o peso aumenta máis rapidamente ca F_a , que dependía de S . Cando o P da pinga sexa maior que a F_a ($P > F_a$), a pinga **cae**: CHOVE.

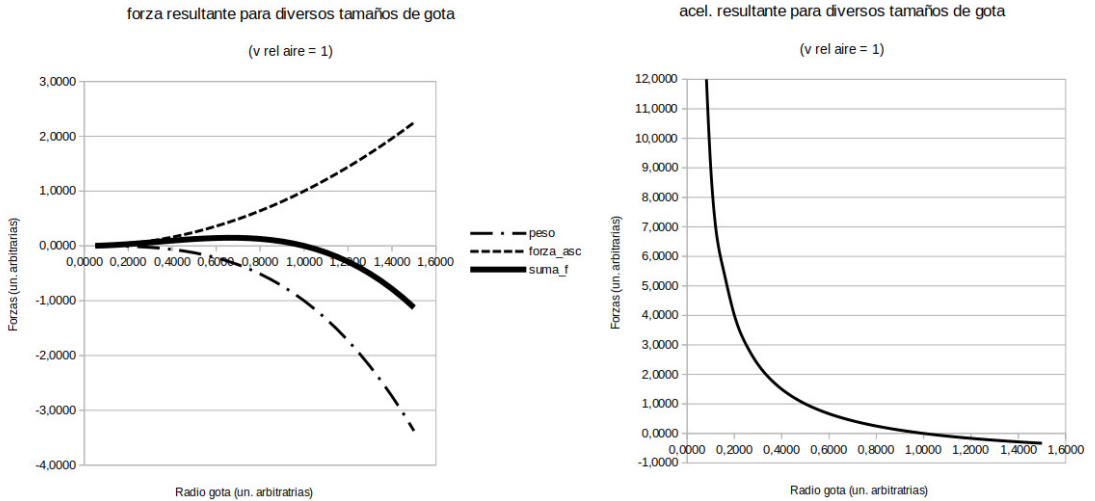


Figura 5. Gráfico cortesía do profesor Antonio Gregorio Montes

7. Corolario

Un aspecto bastante notable deste estudo, ademais de comprobar o instante mesmo no que a pinga comeza a caer, é a situación que ocorre se consideramos o que pasa no sentido contrario ó dito anteriormente. Non cando a gota medra, senón cando diminúe de tamaño. Nese caso a diminución de F_a é menor que a diminución de P , o que se traduce en que a pinga, esa pinga pequena, tende a subir, pois $F_a > P$.

Isto lévanos a unha reflexión moi interesante, extensible a todo tipo de pingas ou partículas que estean na atmosfera, mesmo as que non son de auga: aerosois, po, areas, micro partículas ... Nestas estruturas de tamaño moi pequeno, a F_a é predominante en intensidade, fronte o peso, de xeito que puidera suceder que partículas moi densas (metais, rochosas...) poderían estar flotando, en contra do sentido común, por mor das correntes de aire, verticais ou non, durante períodos de tempo moi longos (meses, anos...), e a alturas considerables, percorrendo distancias enormes; aínda que maiormente debido ó movemento horizontal do aire.

Imaxinades po de chumbo ou de ferro, “nadando” por meses na atmosfera?... Realmente iso é o que está a suceder, por exemplo, nas explosións volcánicas, ou tormentas dos desertos. Para tamaños moi pequenos, o peso é irrelevante, fronte a calquera forza que afecte a calquera partícula.

Salientar, finalmente, que ademais de auga líquida, tamén se forma circunstancialmente, sarabia e copos de neve, cunha etioloxía fundamentalmente idéntica á da formación de gotas de auga, e a quen lles atinxe a mesma física que a estudia para as pingas de auga.

Atendendo a este sinxelo traballo, desde aquí convido ao profesorado e alumnado curioso a que imaxinen unha natureza diferente á nosa, como por exemplo doutros planetas, e que, aplicando

as leis da Ciencia, e tendo en conta as diversas variables das que falamos parágrafos atrás, como o radio, densidade, temperatura, presión, gravidade, etc, e que ousen vaticinar como serían as nubes, a choiva, as postas de sol, a cor do ceo, etc, nesas novas circunstancias. Que papel xoga a gravidade na formación das nubes? E a densidade do aire? E se en lugar de ser auga fose metano ou etano o constituínte principal da atmosfera (Titán)? Ou como queda especificada a choiva nesas planetas en que choven pingas de ferro (temperatura superficial por riba dos 1300 °C)?

Isto é basicamente CIENCIA. Ensinemos a ver con outros ollos, máis esixentes, máis científicos. A entusiasmarse cando comprendemos algo. A facer futuros investigadores.