

CIENCIA PRÁCTICA

El caos del pingar del cañu

Testu y semeyes de **Rubén Fernández Martínez**
El Demoniu de Maxwell
eobanugues@yahoo.es



En física, cola idea de facer más cenciello los cálculos o de comprender de mou afayadizu un problema, avézase a ver un procesu físicu como un sistema ideal nel que ye posible conocer la evolución d'esti. Toos sabemos que la realidá nun ye asina, que ye más complexa de lo que nos dependieron nos cursos de física d'enseñances medies. Dellos sistemas malapenes s'estremen a lo llargo'l tiempu de los resultaos que dan les ecuaciones ideales, pero hai milenta sistemas que s'estremen enforma de los cálculos, primero d'entamar a actuar, en munchos casos per aciu d'un cambéu perpequeñu de los parámetros que repercuten nel procesu. L'Efeutu Mariposa ye un exemplu d'esta triba de comportamientos nos qu'un cambéu pequeñu camuda la evolución cabera del sistema.

Estos sistemas, nos que nun podemos conocer el so comportamientu más p'allá d'unos pocos «movimientos» nómase-yos *caóticos*.

Na realidá tamos arrodiados de sistemas d'esta triba, mesmamente'l cañu de casa del que pinguen gotes seliquino. Si observamos con detenimientu atoparemos nel cayer de les pingues una fonte pa estudiar el caos na casa de nueso.

Acordies colo que Rosseler atopó nos años 70 del sieglu xx, el pingar de les gotes va comportase de forma perestremada según el caudal, que va desde un gotiar continuo y regular –en bisbera–, a patrones intermitentes, impredecibles ya inclusive que caen dientro de la órbita d'un atrautor estrañu. Toos estos comportamientos podemos comprobalos col montax que proponemos equí.

Formalmente, podemos dicir qu'un sistema caoticu ye un sistema non llinial con una dinámica qu'evoluciona d'un estáu estable a otros nos que nun podemos determinar regularidá o orde, aunque nun quier dicir qu'enantes o dempués el sistema nun vuelva a esi o otru estáu d'estabilidá.

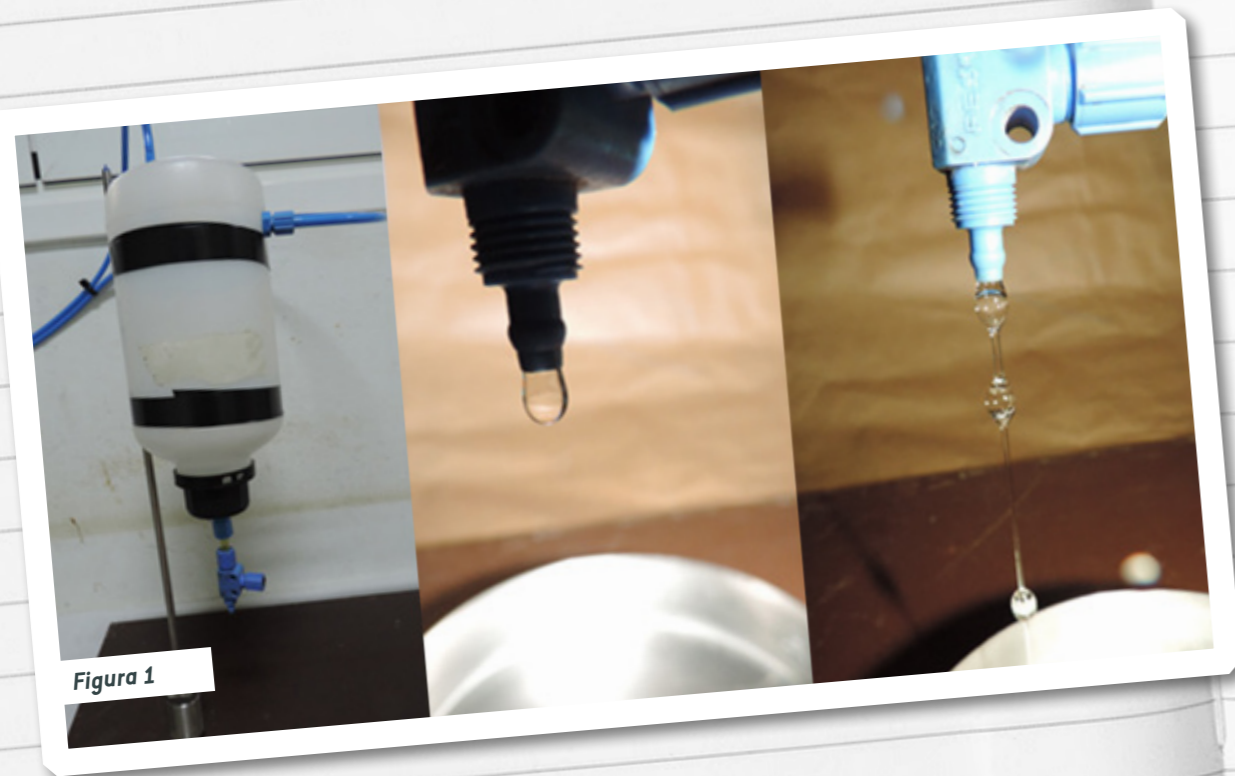


Figura 1

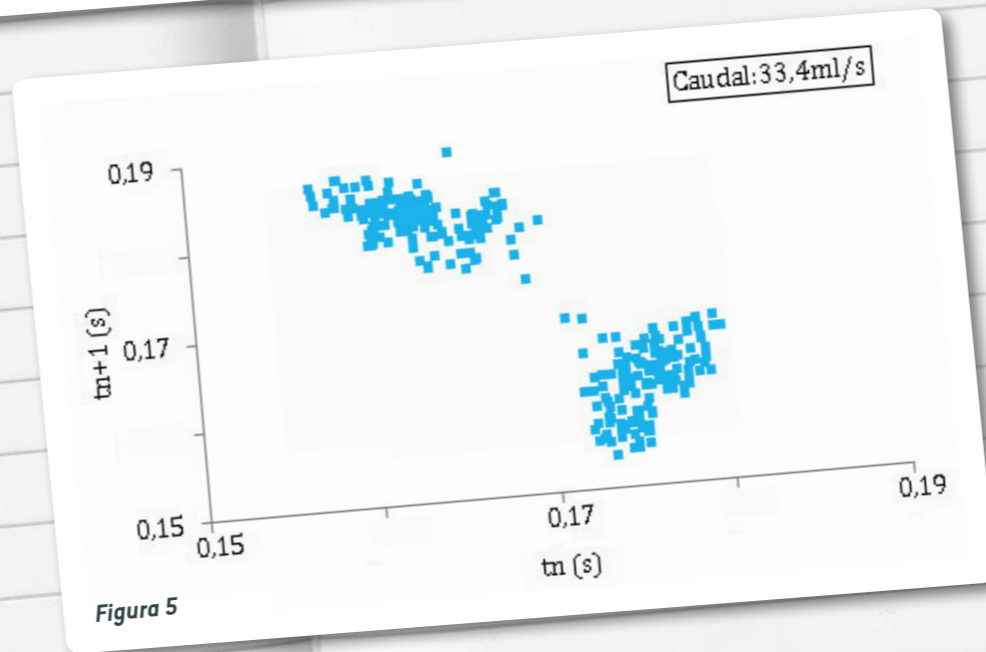
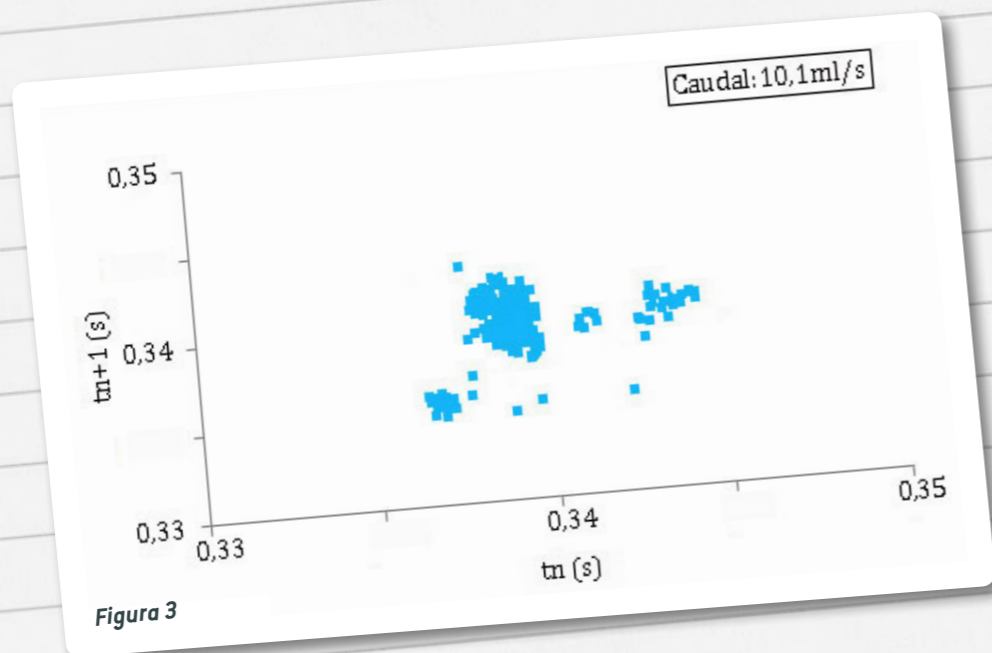
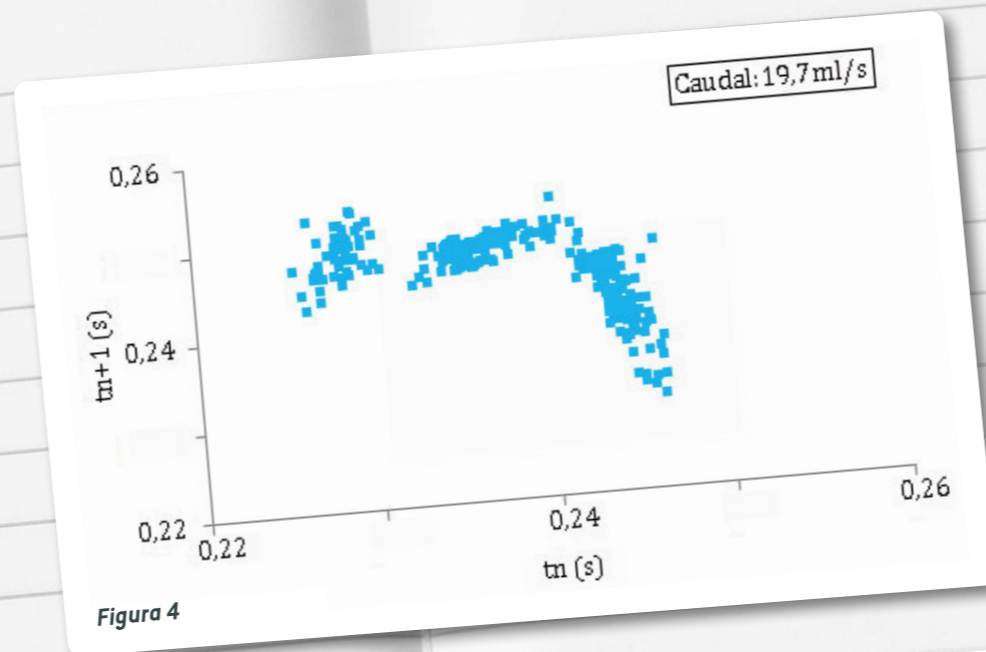
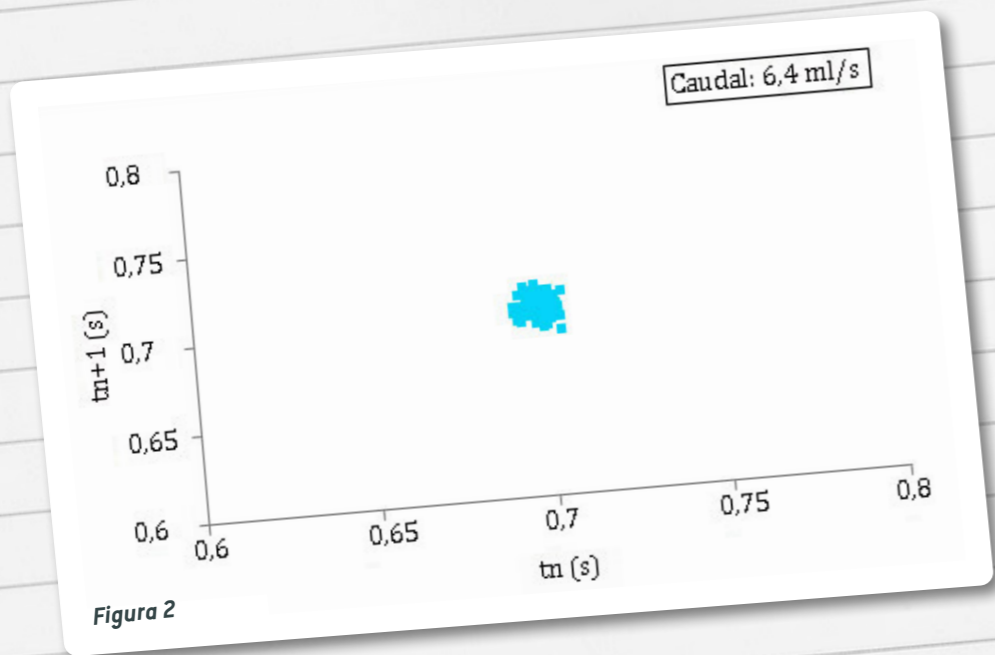
Según vemos na semeya del dispositivu experimental que fiximos pa estudiar el comportamientu del agua al pingar, esti consta d'un depósitu d'agua que siempre ta al mesmu nivel, yá que sinón la presión que fai al agua salir del tubu dirá menguando, y lo que nos interesa ye caltenelo constante y nun lo implicar como fonte de cambéu. Lo que queremos nós ye estudiar l'efeutu produciu pola propia cayida de la pinga sobre la que vien darréu (Fig. 1).

L'agua sal per un tubu que tien una válvula que lo afuega y col que regulamos el caudal de salida, que lo fai per una boca perfina –nós escoyimos amestar una pipeta al tubu–.

Les gotes, independientemente de la so frecuencia, choquen cola tapa que punximos debaxo, qu'al impautar con ella producen un «tactac» que grabemos con un cenciellu micrófonu coneutáu al ordenador. Con un programa que representa'l sonograma de la grabación, calculamos el tiempu ente caún de los «tacs».

Como aparatu d'análisis usamos una clas de gráficu llamáu «mapa de situación numbérica», que grafica pares n y $n+1$ procedentes de la mesma serie, nel nuesu casu'l tiempu que trescurrió de magar que pingó la primer gota y cayó la segunda, na exa x , y el trescurrió ente la segunda ya la tercera na y ; el siguiente puntu ye'l tiempu ente la segunda y tercera pa la x , ya ente la tercer ya cuarta pa la y ; asina con tolos pares de puntos. Esti gráficu va dicinos los puntos más visitaos, que vamos nomar *órbita*. Asina, pal casu nel qu'el tiempu ye'l mesmu ente gotes, la órbita nel gráficu apaecerá como un puntu namás mentanto que nel otru llau ta'l casu nel que siguen un patrón aleatoriu: el gráficu va tar enllenu de puntos ensin axustase a una órbita definida.

La fuerzia que fai l'agua nel fondu de la botella ye lo que nomamos presión hidrostático, que depende de lo enllena que tea la botella. Podemos calcular esta presión según la fórmula $P = \rho gh + P_{atm}$, na que ρ ye la densidá (que pal agua ye 1 kg/m^3 polo que nun repercute nel resultáu caberu), g ye l'aceleración de la gravedá ($9,8 \text{ m/s}^2$), h l'altor de la columna d'agua (m) y P_{atm} la presión atmosférico (Pascuales). Ye perimportante, polo tanto, caltener el nivel del agua, sinón, la presión va dir menguando a medida que pasa'l tiempu.



gundos unos d'otros. Nel estudiu del caos llámase atrator a la órbita na que va a la escontra'l sistema, nesti casu sedría de periodu 1, pues namás visita un puntu na órbita.

ÓRBITES CON DELLOS PUNTOS D'ATRAICIÓN

De la que fuimos aumentando'l caudal el sistema foi estremándose enforma del comportamientu anterior, con toles gotes cayendo cola mesma cadencia. Asina, cuando pasamos a un caudal de 10,1 ml/s, aunque apaeció un puntu central alredu de los 0,34 segundos, surdieron tamién otros dos nubes de puntos (Fig. 3), menos visitaes, desconectaes de la órbita central. Tenemos delante de nós un atrator de periodu 3, pues el tiempu ente gotes oscila rangos temporales.

Otru exemplu foi lo qu'atopamos con un caudal de 19,7 ml/s (Fig. 4), onde tamién apaec un atrator de periodu 3, aunque nesí casu, al estudiar la gráfica temporal, vim]]+os qu'una de les órbites apaec namás a lo primero del esperimentu y depués camuda a un comportamientu de periodu 2. Nel caudal 33,4 ml/s (Fig. 5) ye un claru periodu 2. Esta triba d'atrautores, de periodu 2 o 3, y hasta de periodu 4, vamos atopalos en munchos caudales, nos que'l cayer de les gotes va garrar una cadencia que sigue unos patrones bien bonos d'atopar.

Al oxetu de que'l llector se faiga una idea de lo que pue atopar, vamos ver dellos exemplos que nos alcontramos pa dellos caudales concretos.

ÓRBITA DE PUNTU FIXU

Nel nuesu montax apaeció, col caudal de 6,4 ml/s, una órbita de puntu afincáu alredu los 0,7 segundos, como podemos ver na figura 2 que vemos en forma d'un cúmulo de puntos dixebraos, aunque malapenes s'estremen unos milise-

ÓRBITES QUE CAEN NEL CAOS

Delles vegaes atoparemos que'l sistema va cayer nel caos, esto ye, nun comportamientu non predicible, nos que los intervalos ente gotes nun van seguir nengún patrón. Asina pasó cuando punximos un caudal de 46,8 ml/s (Fig. 6). Aunque a lo primero paecía que diba tender a un atrator de periodu 2, los intervalos periódicos

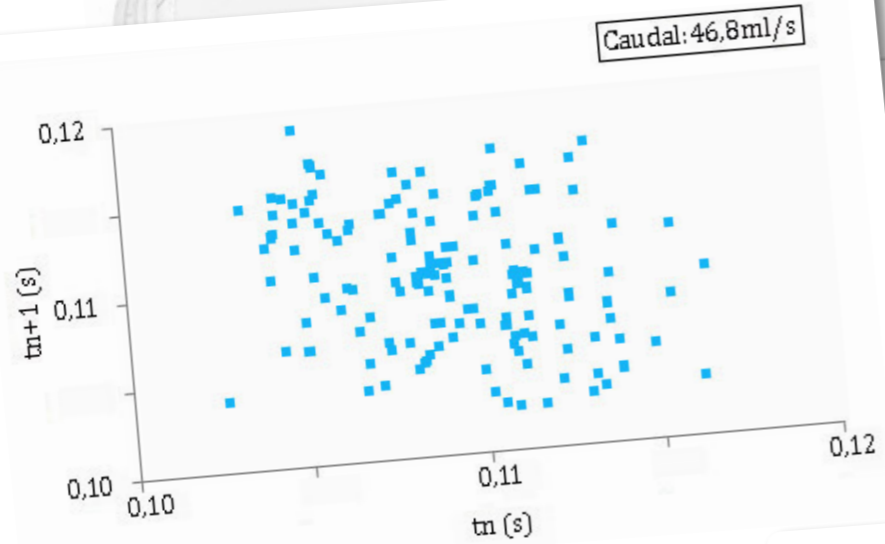


Figura 6

entamaron aína a sumise, hasta que ya nun yeren reconocibles, surdiendo una nube de puntos estremaos aleatoriamente. Nun ye un comportamientu qu'atopemos de forma frecuente, como asocedía colos atrautores de periodu 2 o 3.

**ÓRBITES MONSTRUOSAS:
ATRAUTORES EXTRAÑOS**

Más tarde o más ceo vamos atopamos con que'l sistema entamará a comportase de mou mui raru, y magari que de mano puea asemeyar que tamos delante d'un sistema caótico al usu (que nun sigue nengún patrón), vamos ver de la que vayamos amestando midíes que na gráfica apaecerá una órbita perclara, con formes caprichoses, y d'una guapura cuasi monstruosa: vamos atopanos con un atrautor estrañu. Nós atopámoslos nos caudales de 61,3, 65,8 y 66,3 ml/s. De magari viemos la primer órbita, modificamos mui poco'l caudal col envís de ver cómo camudaba la so forma y viemos, nes tres gráficas, que nun lo facía muncho, talamente como si tuviere programao'l cayer de les gotes. Según paez esti tipu d'atrautor apaer

per uquiera na natura, y el so estudiu ta abriendo nuevas perspeutives nel estudiu de sistemas percomplicaos. (Figs. 7 y 8).

La forma de les órbites atopaes estrémase enforma de les órbites qu'atopemos de primeres y anque nun se conoz por qué pasa de comportase como un sistema más o menos periódicu a un sistema percomplexu, nun dexa de ser d'interés pal científicu aficionáu que con un montax percenciellu llogra dir más p'allá de lo que la imaxinación podría dir.

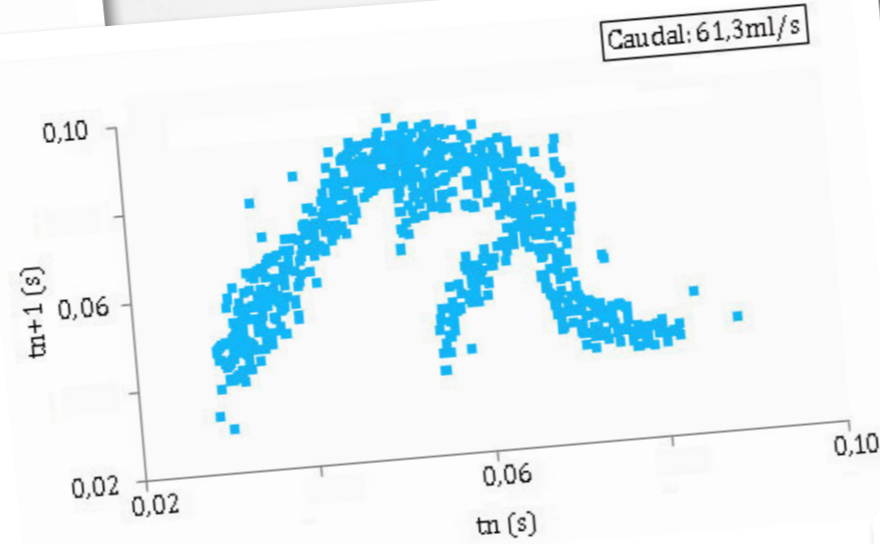


Figura 7

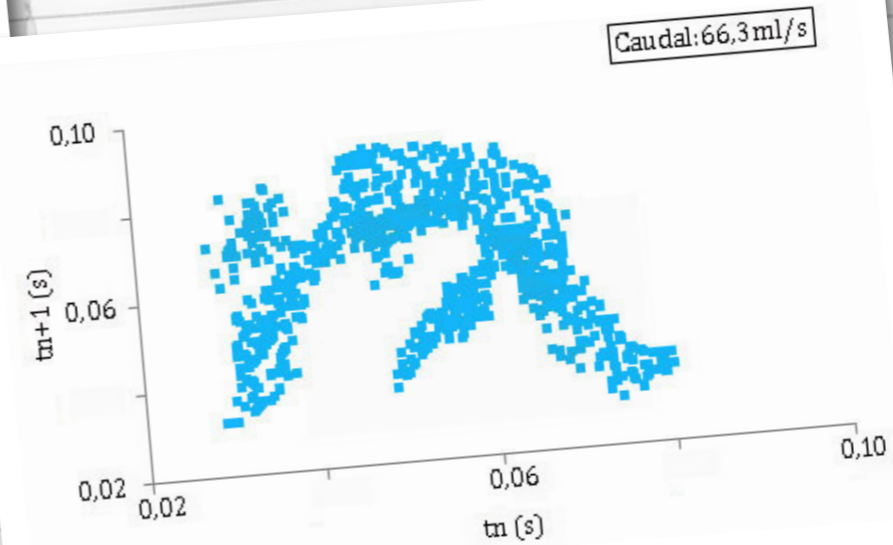


Figura 8

PIESLLE

Col esperimentu pudimos ver, ente otres coses: a) cómo'l sistema diba siendo más complexu a medida qu'aumentaba'l caudal y b) viemos d'igual mou qu'un aumentu relativamente pequeñu del caudal camudaba enforma'l comportamientu, sacante cuando entraba nel réxime del atrautor estrañu, too ello pola mor les pequeñes perturbaciones que producen la cayida de les gotes.

Esti montax va prestar al aficionáu a la ciencia práutica y úfre-y non solo la oportunidá de ver y comprender fenómenos complexos, sinón de desendolcar dimensiones del esperimentu más p'allá de lo equí s'asoleye.