




ENSAYO · CIENCIA

LEN FISHER

CÓMO MOJAR UNA GALLETA

LA CIENCIA EN LA VIDA COTIDIANA

 DEBOLSILLO

LEN FISHER

CÓMO MOJAR UNA GALLETA

LA CIENCIA EN LA VIDA COTIDIANA

Edición digital: Sargont (2019)

Título original: *How to Dunk a Doughnut: The Science of Everyday Life*

Diseño de la portada: Departamento de diseño de Random House Mondadori

Directora de Arte: Marta Borrell

Diseñadora: Judith Sendra

Fotografía de la portada: Fotomontaje a partir de fotografías de Jaume Balanyá

Primera edición en la Argentina bajo este sello: agosto de 2005

© 2002, Len Fisher

Traducido de la edición original de Widenfeld & Nicholson, Londres

© 2003 de la edición en castellano para España y todos los países de habla hispana

Grupo Editorial Random House Mondadori, S.A. – Barcelona

© 2003, Isabel Merino, por la traducción

© 2005, Editorial Sudamericana S.A.® - Buenos Aires, Argentina

Publicado por Editorial Sudamericana S.A.® bajo el sello Debolsillo con acuerdo de Random House Mondadori

La figura 3.1 ha sido reproducida con permiso. © BBC

La figura 8.3 ha sido reproducida con permiso de la compañía de los doctores Jeff Palmer y Karen M. Hiimae

Impreso en la Argentina

ISBN 987-566-080-9

Queda hecho el depósito que previene la ley 11.723

Índice

INTRODUCCIÓN

1. El arte y la ciencia de mojar una galleta
2. ¿Cómo cuece un huevo un científico?
3. El Tao de las herramientas
4. Cómo sumar la cuenta del supermercado
5. Cómo lanzar un bumerán
6. Correr para atrapar la pelota
7. La espuma de baño, la espuma de la cerveza y el sentido de la vida
8. Cuestión de gustos
9. La física del sexo

CODA

APÉNDICE I

APÉNDICE II

NOTAS

Introducción

Los científicos, al igual que los verdugos, padecen desventajas sociales debido a su oficio. La gente siente una natural curiosidad por su trabajo y por sus motivos para ejercerlo, pero no se atreven a preguntar por los detalles. En el caso de los científicos, quien pregunta teme no comprender la respuesta y acabar quedando como un tonto. Ese miedo puede ser tan acusado que, en las fiestas, cuando descubren que soy científico, los invitados suelen dirigirse a mi mujer para preguntarle por mi trabajo en lugar de abordarme a mí directamente.

Este libro está dedicado a esas personas y a cualquiera que quiera saber a qué se dedican realmente los científicos. Utiliza la «ciencia de lo familiar» como llave para abrir una puerta a la ciencia, para mostrar qué se siente al ser científico y para ver, desde la perspectiva de alguien de dentro, qué hacen los científicos, por qué lo hacen y cómo lo hacen. He utilizado este enfoque con cierto éxito en ejercicios publicitarios diseñados para mostrar cómo puede aplicarse la ciencia a muchas actividades cotidianas, entre ellas mojar las galletas, el mejor modo de usar la salsa en los asados, la confección y lanzamiento de bumeranes en interior y el uso de la física para mejorar la vida sexual. El amplio interés mostrado por el público por estas anécdotas me ha animado a escribir este libro, en el que explico el contexto de dichas anécdotas y amplió mi repertorio para incluir la aplicación de la ciencia al mojado de galletas, la compra, las tareas domésticas, el deporte, el baño y la cama, en suma, a las principales actividades de la vida cotidiana.

La ciencia puede aportar mucho a las actividades cotidianas, pero también ha ganado mucho con su estudio. Entre las cosas que ha ganado se encuentra el principio de la convección del calor, descubierta por el angloamericano conde Rumford después de quemarse la lengua con un pedazo de tarta de manzana caliente; la primera medición del tamaño de una molécula, realizada por Benjamin Franklin al observar el efecto apaciguador que ejercía el agua sucia de fregar los platos en las olas que producía la estela de un barco, así como la primera estimación de los cam-

pos de fuerza entre moléculas, derivada del estudio de la absorción de líquidos en materiales porosos.

Cada capítulo gira en torno a una actividad familiar y presenta un concepto científico importante esencial para esa actividad. Entrelazadas con la historia de la ciencia hay anécdotas de científicos, que incluyen a muchos de mis contemporáneos así como a algunos nombres famosos del pasado. Los del pasado no pueden impedirme contar anécdotas sobre ellos. La mayoría de los del presente han leído lo que he escrito y amablemente no han querido censurarlo.

La ciencia de lo familiar es uno de los medios más efectivos de presentar la ciencia a los no científicos. Michael Faraday, descubridor de la electricidad, se cuenta entre los primeros en este campo con sus populares conferencias sobre «La historia química de una vela», con las que, hace casi ciento cincuenta años, llenaba la sala con la moderna élite de Londres. Muchos otros lo han imitado desde entonces, incluyéndome a mí.

No todos lo aprueban. Algunos colegas opinan que al comunicar mis experimentos con algo tan corriente como mojar una galleta o una magdalena corro el riesgo de trivializar la ciencia. Otros me han leído la cartilla por llevar la ciencia a terrenos donde a su entender no tiene nada que hacer. El editor de un periódico llegó a describirme como «la clase de experto que no puede ver un plato de patatas fritas y pescado sin meter un bocado en un tubo de ensayo convenientemente a mano y ponerse a garabatear cálculos». El periodista estaba irritado conmigo por haber tomado la absorción de la salsa en los asados como objeto de estudio científico pero, sin darse cuenta, dio una magnífica definición de lo que es la ciencia. La labor del científico es tratar de comprender el mundo y esa comprensión puede derivarse tanto de lo pequeño y aparentemente insignificante como de la contemplación de los grandes temas. Muchos artistas, escritores y filósofos han hallado también un profundo significado en los aspectos aparentemente triviales de la vida.

Los científicos ven el mundo que los rodea en términos científicos, independientemente del tiempo, el lugar o las normas sociales. Esto puede llevar a una conducta poco convencional. El físico decimonónico James Prescott Joule escogió una pintoresca cascada para pasar su luna de miel, pero su elección estaba dictada más por la ciencia que por romanticismo y se llevó un termómetro para poder medir la temperatura de la cascada y confirmar su teoría del calor. Cuando a un antiguo colega mío le pilló

un chaparrón, su reacción racional y científica fue quitarse toda la ropa y ponerla a secarse encima del radiador de su laboratorio, posición en la que dio un susto de muerte a una limpiadora desprevenida.

En este libro el lector conocerá a muchos científicos (la mayoría, vestidos) del pasado y del presente, con distinta formación cultural y, con frecuencia, con muy diversas aspiraciones científicas y sociales. Sin embargo, todos tienen en común la visión de que la belleza de la naturaleza se ve realzada por la comprensión científica, y que esa comprensión tiene su propia belleza particular. Tanto si se interesa en los fenómenos a gran escala como en la intimidad de los detalles familiares y cotidianos. Es la belleza de esos detalles familiares lo que, por encima de todo, deseo compartir.

No podría haber hecho esto sin la ayuda de muchos de mis amigos y colegas científicos, que han dedicado tiempo a discutir algunos puntos, a leer los borradores de los capítulos y a aportar su experiencia para corregir errores y añadir aclaraciones. Entre quienes han hecho aportaciones importantes se cuentan (por orden alfabético) Mark Abrahams, Lindsay Aitkin, Bob Aveyard, Peter Barham, Geoff Barnes, Gary Beauchamp, Tony Blake, Fritz Blank, Stuart Burgess, Arch Corriher, Terry Cosgrove, Neil Furlong, John Gregory, Simon Hanna, Michael Hanson, Roger Highfield, Robin Heath, Philip Jones, Harold McGee, Eileen McLaughlin, Mervyn Miles, Emma Mitchell, David Needham, Jeff Odell, Jeff Palmer, Alan Parker, Rick Pashley, Bob Reid, Harry Rothman, Sean Slade y Elizabeth Thomas, Burt Slotnick, Brian Vincent y Lawrence West. Otros nombres, igualmente importantes, acudirán a mi memoria tan pronto como el libro esté en la imprenta.

Me gustaría agradecer especialmente a mi agente, Barbara Levy, y a mis editores, Peter Tallack y Richard Milner, que me hayan animado a emprender esta aventura y por mostrar tanta en mi capacidad para llevarla a buen término. Muy especialmente, quiero dar las gracias a mi esposa, Wendy, que ha leído y vuelto a leer los borradores de todos los capítulos en representación de los futuros lectores y cuyos acertados comentarios han contribuido a eliminar pasajes oscuros y a mejorar la legibilidad.

Numerosos senderos fascinantes, anécdotas divertidas y pequeños puntos de interés no pudieron ser incluidos en los capítulos principales, sobre todo porque interrumpían el curso de la narración, de manera que los he añadido en forma de notas al final del libro. En ellas el lector encontrará consejos sobre la mejor

manera de comer chili caliente, las reglas de la carrera de emúes de Mudgeeraba Creek y de la Asociación de Lanzamiento de Bumeranes y la razón de que un estado estadounidense intentara demandar a otro por haberle robado la lluvia. Estas y otras anécdotas son una parte del libro tan legítima como los capítulos principales, y espero que el lector derive de su lectura el mismo placer que yo encontré investigando y escribiendo sobre ellas.

Numney Somerset, marzo de 2002

1. El arte y la ciencia de mojar una galleta

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan los científicos al compartir su visión del mundo con un público más amplio es la diferencia entre los conocimientos de unos y otros. No es necesario ser escritor para leer y comprender una novela ni saber pintar para apreciar un cuadro, porque tanto el cuadro como la novela reflejan nuestra experiencia común. No obstante, contar con ciertos conocimientos científicos es un requisito previo para comprender y apreciar la ciencia porque esta se basa, en gran medida, en conceptos cuyos detalles no resultan familiares para la mayoría de las personas.

Esos detalles empiezan con el comportamiento de los átomos y las moléculas. La idea de que tales cosas existen es de dominio público hoy en día, aunque eso no impidió que uno de mis compañeros de mesa en una cena me soltara: «¡Oh, es usted científico! No sé mucho de ciencia, pero sí sé que los átomos están hechos de moléculas». Ese comentario me hizo comprender lo difícil que puede ser para quien no dedica su vida profesional al estudio de la materia en su nivel atómico o molecular visualizar cómo aparece y actúa cada átomo o molécula en su mundo miniaturizado.

Algunos de los primeros indicios de ese comportamiento nos los proporcionaron científicos que trataban de comprender las fuerzas que atraen a un líquido al interior de los materiales porosos. Una de las manifestaciones más comunes de este efecto es que cuando mojas una magdalena en el café o una galleta en el té ambos líquidos son absorbidos al interior de las pastas. Me sentí complacido cuando una firma publicitaria inglesa me pidió que les ayudara a divulgar la ciencia de mojar galletas, porque me dio oportunidad de explicar algunos comportamientos de átomos y moléculas en un contexto cotidiano, y también mostrar cómo actúan los científicos cuando se enfrentan a un problema nuevo.^{1}

Me sentí menos complacido cuando me concedieron el caricaturesco «Premio IgNobel» por mis esfuerzos. Anualmente la mitad de esos premios se concede a «experimentos que no pue-

den, o no deben, ser reproducidos». La otra mitad se otorga a proyectos que «despiertan el interés del público por la ciencia». Desgraciadamente, y para confusión de muchos periodistas, los organizadores de la Universidad de Harvard no se dignan decir cuál es cuál.

Sin embargo, fue un placer recibir cartas de escolares que se habían sentido atraídos por la publicidad concedida tanto al premio como al proyecto. Un estudiante estadounidense solicitó mi ayuda para continuar la investigación en su trabajo escolar de ciencias, en el que estudiaba las diferencias entre las magdalenas y las galletas. Más adelante me informó con orgullo de que habían premiado sus esfuerzos con un excelente.

Este capítulo cuenta la historia del proyecto sobre el mojado de galletas y magdalenas y la ciencia subyacente en ello, que se utiliza para resolver problemas que van de la extracción de petróleo de depósitos subterráneos hasta la forma en que el agua llega a las hojas de los árboles.

Las magdalenas parecen diseñadas para mojarlas. Al igual que el pan, la magdalena mantiene la cohesión gracias a una red elástica de gluten, una proteína. El gluten puede estirarse e incluso llegar a romperse cuando la magdalena se sumerge en café caliente, pero no se hincha ni se disuelve a medida que el líquido penetra en la red de agujeros y canales que forma el gluten.⁽²⁾ Esto significa que el mojadador de magdalenas puede tomarse su tiempo, deteniéndose solo para dejar que el exceso de líquido vuelva a caer en la taza antes de llevarse la magdalena a la boca expectante. El único problema al que se enfrenta el mojadador de magdalenas es qué magdalenas escoger, una cuestión sobre la que la ciencia tiene algunos sorprendentes consejos que ofrecer, como mostraré más adelante en este capítulo.

Los mojadadores de galletas sí se enfrentan a un verdadero desafío. Si hay que creer los recientes estudios de mercado, una de cada cinco galletas mojadas acaba en desastre y el mojadador acaba rebuscando los restos empapados en el fondo de la taza. El problema para los mojadadores de galletas serios es que el té o el café calientes disuelven el azúcar, funden la grasa e hinchan y ablandan los granos de fécula de la galleta. La galleta mojada acaba por desplomarse bajo su propio peso.

¿Puede la ciencia hacer algo para lograr que el entregado mojadador de galletas alcance la paridad con el de magdalenas? ¿Podría la ciencia, que ha añadido ese punto adicional al rendimien-

to de atletas y astronautas por igual, ser utilizada para refinar de manera definitiva el mojado de galletas y salvar así ese quinto y vital remojón?

Estas preguntas me las planteó una agencia publicitaria que quería promocionar la «Semana nacional del mojado de galletas». Como alguien que utiliza la ciencia que hay detrás de objetos y actividades cotidianos para hacer la ciencia más accesible al público, de buena gana presenté «La física de mojar una galleta». Me parecía una buena oportunidad de realizar una investigación desenfadada que mostrara cómo funciona realmente la ciencia, además de generar algo de publicidad en los medios en beneficio tanto de la ciencia como de los anunciantes.

Evidentemente, los publicistas creían que el tema suscitaría un gran interés entre el público, pero no imaginaban adonde llegaría ese entusiasmo. La historia del «mojado de la galleta» que finalmente apareció en los medios de comunicación británicos se difundió rápidamente por todo el mundo e incluso alcanzó la programación matutina de la televisión estadounidense, donde participé en una erudita discusión sobre los relativos problemas de los mojadores de galletas y magdalenas. El interés del público por la ciencia comprensible quedó patente cuando hablé sobre la física de mojar una galleta durante un programa científico radiofónico en Sídney, Australia. La centralita de la Triple J, una emisora de música rock, recibió siete mil llamadas en un cuarto de hora.^{3}

Los publicistas tenían algunas ideas preconcebidas sobre cómo funcionaba la ciencia y querían nada menos que un «descubrimiento» que acaparara los titulares de los periódicos. Pero anunciantes y periodistas no son los únicos que asocian la ciencia a los «descubrimientos». Incluso algunos científicos lo hacen. En 1660, poco después de que se fundara la Royal Society, Robert Hooke^{4} fue nombrado «conservador de experimentos» y le encomendaron que realizara semanalmente «tres o cuatro experimentos notables» (es decir, descubrimientos) y que los mostrara ante los miembros de la sociedad. Ante esta presión, no es de extrañar que, según se dice, Hooke tuviera un carácter irritable y los cabellos le colgaran desmelenados sobre el rostro demacrado. De hecho, hizo muchos descubrimientos, aunque luego no perfeccionara ninguno. Tuve que decir a los anunciantes en cuestión que quizá Hooke había sido capaz de hacerlo, pero que yo no podría. Por lo general, la ciencia no funciona de ese modo.

La intención de los científicos no es hacer descubrimientos, sino tratar de desvelar historias que expliquen cómo funcionan las cosas. A veces esas historias pueden dar lugar a conocimientos totalmente nuevos o a una nueva manera de ver la naturaleza de las cosas, pero no sucede a menudo.

Expliqué que, con la ayuda de mis amigos y colegas de las ciencias de la física y la alimentación, tenía bastantes probabilidades de sacar a la luz una buena historia sobre el mojado de galletas, pero era muy improbable que resultara ser un «descubrimiento». Hay que decir a su favor que los anunciantes aceptaron mi razonamiento y nos pusimos a trabajar.

La primera pregunta que nos hicimos fue: «¿Qué aspecto tiene una galleta desde el punto de vista de un científico?». Es una típica pregunta de científico que hay que leer así: «¿Cómo podemos simplificar este problema para poder resolverlo?». Este planteamiento a veces se lleva hasta extremos, como en el caso del famoso físico al que se pidió que calculara la máxima velocidad posible de un caballo de carreras. Según cuenta la leyenda, respondió que podía hacerlo, pero solo si le permitían partir del supuesto de que el caballo era esférico. La mayoría de los científicos no llegan a esos extremos para reducir un problema complicado en algo resoluble, pero en cierto modo todos lo hacemos. Los críticos nos llaman reduccionistas, pero no importa lo que digan, el método funciona. Francis Crick y James Watson, descubridores de la estructura del ADN,⁽⁵⁾ no encontraron la estructura estudiando las complicadas células vivas cuyo destino rige el ADN, sino eliminando todas las proteínas y demás moléculas que forman la vida y estudiando solo el ADN. Durante los cincuenta años que siguieron a su descubrimiento, los biólogos han ido reincorporando las proteínas para averiguar cómo las células reales utilizan la estructura del ADN, pero nunca hubieran sabido cómo era esa estructura de no haber sido por el planteamiento reduccionista original.

Decidimos ser reduccionistas respecto a las galletas y tratar de comprender su reacción al mojado en términos físicos sencillos y dejar las complicaciones para más tarde. Al examinar una galleta bajo el microscopio, vimos que parecía constituida por una tortuosa serie de agujeros, canales y cavidades interconectados (como sucede en las magdalenas). En el caso de las galletas, los canales aparecen porque la galleta está compuesta de gránulos de fécula desecados imperfectamente unidos por azúcar y grasa. Para un científico, el problema de mojar una galleta es averiguar cómo

mo el café y el té calientes penetran en esos canales y qué sucede cuando lo hacen.

Con esta imagen en mente, me reuní con algunos de mis colegas del Departamento de Física de la Universidad de Bristol y procedimos a examinar la cuestión experimentalmente. Con solemnidad, mojamos nuestras galletas en las tazas y cronometramos el tiempo que tardaban en desmoronarse. Eso era ciencia baconiana, llamada así por sir Francis Bacon,⁽⁶⁾ el cortesano isabelino que declaró que la ciencia consistía en reunir el suficiente número de datos para deducir de ellos un modelo.

La ciencia baconiana nos costó un montón de galletas, pero no nos proporcionó ningún modelo científico sobre el mojado de galletas. La serendipia, el don de hacer hallazgos afortunados, acudió al rescate cuando decidí probar a sujetar la galleta horizontalmente, con un único lado en contacto con la superficie del té. Descubrí, atónito, que esta galleta batía la marca anterior de longevidad en casi el cuádruple.

Al igual que los aficionados deportivos, los científicos se interesan mucho más por lo excepcional que por lo corriente. Los momentos de mayor entusiasmo científico se producen cuando alguien presenta una observación que no puede explicarse mediante las reglas establecidas, cuando la ciencia «corriente» experimenta lo que Thomas Kuhn llama un «cambio de paradigma»⁽⁷⁾ y todas las ideas anteriores deben volver a definirse a la luz del nuevo saber. La demostración de Einstein de que la masa, m , es en realidad una forma de energía, E , y que las dos están vinculadas por la velocidad de la luz c en la fórmula $E = mc^2$ es un ejemplo clásico de cambio de paradigma.

Los cambios de paradigma surgen, con frecuencia, de observaciones inesperadas, pero esas observaciones deben verificarse. Cuanto más inesperada sea una observación, más estrictas serán las pruebas. En palabras del famoso inmunólogo y ensayista británico sir Peter Medawar: «Las afirmaciones extraordinarias exigen pruebas extraordinarias».⁽⁸⁾ Nadie va a rechazar la moderna ciencia física solo porque se afirme que el «vuelo yóguico» es posible o porque un mago doble cucharas en televisión. No obstante, si se demostrara que la levitación es un hecho o que realmente es posible doblar cucharas sin aplicar fuerza alguna, la física tendría que encajar el golpe y recapacitar.

No era probable que una única galleta horizontal longeva exigiera un cambio de paradigma para explicarlo. Para que ese raro suceso se produjera, la nueva observación tenía que ser inexplicada

cable mediante las normas conocidas actualmente y, lo que es más importante, el efecto observado tenía que ser real, y no el resultado de alguna circunstancia excepcional.

Algo que convence a los científicos de que un efecto es real es su reproducibilidad, es decir, obtener el mismo resultado al repetir la prueba. La galleta longeva podía haber sido excepcional porque había sido horneada más tiempo y fuera más dura que el resto de las que habíamos probado o por un sinfín de razones ajenas al método de mojado. Repetimos el experimento con otras galletas y de distintos tipos. El resultado era siempre el mismo: las galletas mojadas con la técnica horizontal duraban mucho más que las que se mojaban del modo corriente. Parecía que, en efecto, el método era la clave.

¿Cuál era la explicación? Una posibilidad era la difusión, un proceso por el cual cada molécula del líquido que penetra en la galleta explora los canales y cavidades de esta al azar, aparentemente sin método. Su avance es semejante al del borracho que regresa andando a casa desde el bar, pero no sabe en qué dirección queda su casa. Cada paso es un bandazo azaroso que puede llevarlo adelante, atrás o a los lados. Los matemáticos han averiguado la complicada estadística de esa clase de movimiento (llamado proceso estocástico), que revela que la distancia probable desde el pub hasta su casa depende de la raíz cuadrada del tiempo que emplea en llegar. Por decirlo llanamente, si tarda una hora en alejarse un kilómetro y medio del bar, probablemente tardará cuatro horas en alejarse seis kilómetros.⁽⁹⁾

Si aplicamos la misma fórmula matemática al recorrido de líquido por los canales aleatorios de un material poroso como el de las galletas, será necesario el cuádruple de tiempo para que la galleta mojada según nuestro método se empape por completo con respecto al necesario para que suceda lo mismo con la mojada normalmente. La razón de esto es que en el mojado normal, el líquido solo tiene que llegar al plano medio de la galleta para que esta se empape, ya que el líquido la ataca por las dos caras. Si la galleta se coloca plana en la superficie de la taza, el líquido tiene que viajar dos veces más lejos (esto es, de una cara a la otra de la galleta) para que esta quede empapada, lo que requerirá cuatro veces más tiempo según los cálculos de la difusión (figura 1.1).

FIGURA 1.1: CÓMO MOJAR UNA GALLETA.

Izquierda: desastre. Galleta mojada por el método tradicional, el líquido penetra por ambas caras. *Derecha:* triunfo. Galleta mojada por el método cien-

tífico. El líquido tarda cuatro veces más en impregnar el ancho de la galleta, y esta permanecerá intacta mientras su cara superior se mantenga seca.

El científico estadounidense E.W. Washburn⁽¹⁰⁾ descubrió un factor de cuatro semejante mientras estudiaba la capacidad de absorción del papel secante, una maraña de fibras de celulosa que también está llena de canales aleatorios. Los experimentos de Washburn, realizados hace alrededor de ochenta años, eran la simplicidad en persona. Sobre una hoja de papel secante trazó una serie de líneas a intervalos regulares y luego sumergió la hoja en tinta (más fácil de ver que el agua) verticalmente, con las líneas por encima de la superficie del líquido y paralelas a esta y con una de ellas en contacto con el límite de la tinta. Luego cronometró el tiempo que tardaba la tinta en alcanzar las líneas sucesivas. Descubrió que tardaba cuatro veces más en alcanzar la segunda línea de lo que había tardado en alcanzar la primera, y nueve veces más en alcanzar la tercera.

Traté de repetir los experimentos de Washburn con los distintos tipos de galleta que me proporcionó mi patrocinador. Sumergí verticalmente las galletas, marcadas a intervalos de cinco milímetros con un lápiz, en té caliente y controlé el ascenso del líquido con un cronómetro. Resultó que las galletas se comportaban de un modo muy parecido al papel secante cuando de absorber líquido se trataba, y esta similitud aún se hizo más evidente cuando planteé los resultados en un gráfico.⁽¹¹⁾ Si la distancia penetrada seguía la ley de la difusión, el gráfico del cuadrado de la distancia recorrida en función del tiempo sería una línea recta. Si el líquido tardaba cinco segundos en subir cuatro milímetros, serían necesarios veinte segundos para que subiera ocho milímetros. Y así ocurrió hasta llegar a treinta segundos, momento en el que la parte mojada de la galleta cayó y se hundió en el fondo de la taza (figura 1.2).