# EL FENÓMENO DE MOJADO

*Posted on 15 marzo, 2019 by G. Sánchez-Balderas, Marissa Robles Martínez y Elías Pérez*

**Category:** Ciencia
**Tag:** Ciencias Exactas

## ¿Por qué se mojan las superficies?

¿Se les ha caído alguna vez el celular o el reloj de pulsera al agua? Si es así y tienen suerte, el dispositivo continuará funcionando con normalidad una vez que se haya secado. Si no es así, tendrán que mandar a arreglarlo o bien comprar uno nuevo. Éste es un incidente que la mayoría de las personas hemos sufrido, pero pocos nos preguntamos: ¿por qué se moja el reloj o celular al caer al agua? Muchos quizá tengan celulares o relojes a prueba de agua y se vean en la necesidad de meter la mano en ésta más rápido que el mismo *flash* para evitar que se descomponga la pantalla o en general el mecanismo electrónico. Probablemente alguna de esas veces lo has puesto en arroz para intentar salvarlo. Este grano absorberá el agua y con un poco de suerte el aparato siga

funcionando. Es aquí donde la ciencia entra en juego, y aunque parezca poco profundo el tema, después de siglos de investigación aún no comprendemos en su plenitud cómo es que la superficie de los sólidos se moja.

> ***¿Por qué se moja el celular al caer al agua?***

## La física de superficies en la vida cotidiana

Pensemos por un momento en lo que hacemos todos los días al despertarnos: tomamos un baño, nos lavamos los dientes, y algo muy evidente:  la superficie del espejo o de las ventanas se empañan de vapor de agua, y eventualmente, al cabo de pocos minutos, ésta se condensa y resbala de las superficies. Si tienen algún mueble de madera en el baño, con frecuencia están recubiertos con algún tipo de resina para que el agua no hinche la madera ni la pudra con el tiempo. Todo esto nos lleva a entender que existen materiales que absorben agua y otros que no lo hacen. Los primeros son llamados materiales hidrófilos (del griego *hydros*, "agua", y *philia*, "amigable"), es decir, que tiene afinidad con el agua; los segundos son llamados materiales hidrófobos (del griego *hydros*, "agua" y *fobos*, "miedo o repulsión"), es decir, la repelen. Aunque no sólo pasa con el agua, muchos materiales lo hacen con aceites (hidrocarburos) y son conocidos como materiales oleófobos (del griego *oleo*, "aceite", y *fobos*, "miedo o repulsión"), o el caso contrario, materiales oleófilos. Algunas veces un mismo material puede repeler tanto líquidos acuosos como oleosos, a éstos se les conocen como materiales omnífobos  (del latín *omni*, "todo" y del griego *fobos*, "miedo o repulsión"), es decir, que repele todo tipo de líquidos (Bormashenko, E., 2013). Si la repulsión del material al líquido usado es suficiente para que las gotas adopten una forma casi esférica, se trata de materiales superhidrófobos (en el caso de agua) o superoleófobos (para el caso de hidrocarburos).

Todos tenemos en casa sartenes cubiertos de teflón, los cuales nos facilitan la cocina debido a que la grasa no se "pega". Hoy en día muchos objetos de cocina, electrónica, odontología, aeronáutica y militar se recubren con teflón para evitar el mojado, reducir la fricción y, en consecuencia, alargar su tiempo de vida. Incluso existen materiales *inteligentes* que, al cambiar su temperatura o pH, pueden repeler o absorber agua y otros líquidos.

Aunque son muchos los materiales que poseen estas propiedades, una buena cantidad son hidrófilos u oleófilos y pueden ser modificados física o químicamente para que adopten propiedades de repulsión de líquidos.

Figura 1. El mojado desde el jardín. Cortesía del Dr. Juan Faustino Aguilera Granja.

## El mojado en la naturaleza

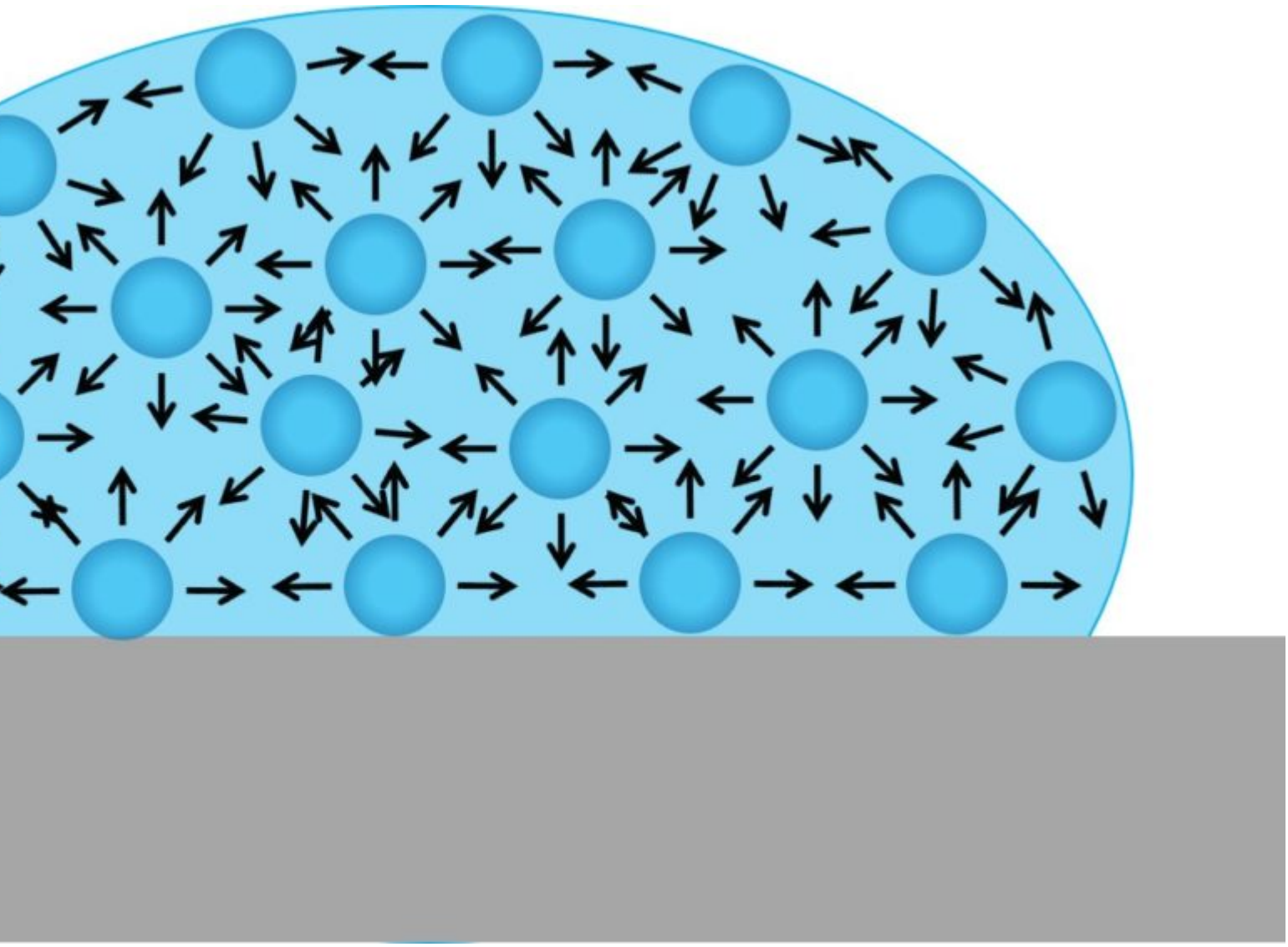
Dos efectos del mojado bastante conocidos en la literatura científica son el “efecto loto” y el “efecto pétalo de rosa”, que si buscamos una mañana por el jardín daremos con ellos. El primero es conocido desde 1977, cuando los botánicos alemanes Barthlott y Ehler descubrieron propiedades de autolimpieza y superhidrofobicidad. El “efecto loto” se refiere a la alta hidrofobicidad (>150°) y baja adhesión de las hojas del lirio acuático conocido como loto o *Nelumbo nucífera*. Esto ocurre cuando una gota de agua es colocada sobre una hoja de loto; permaneciendo casi como una esfera perfecta. Incluso la gota tenderá a rodar cuando se inclina la hoja. El efecto pétalo de rosa es algo similar al loto, sólo que en este caso la adhesión es lo suficientemente alta para atrapar las gotas de agua y les impide resbalar al ser inclinadas (Feng, L., 2008). Ambos casos han sido objeto de estudio de cientos de artículos de investigación debido a su amplia aplicación en la tecnología actual, como recubrimientos a dispositivos electrónicos, microfluídica, medicina, transporte de líquidos sin pérdidas, etc.

Figura 2. Efecto pétalo de rosa cada mañana en el jardín. Cortesía del Dr. Juan Faustino Aguilera Granja. / Efecto loto.

## Origen físico del mojado

El grado de mojabilidad de una superficie con un líquido se relaciona directamente con las interacciones intermoleculares de estos materiales, lo que da lugar a las tensiones superficiales: si las moléculas de la superficie del sólido y la del líquido son muy parecidas, el líquido podrá mojar muy bien, pero pueden ser muy disímiles y mojar poco.

En particular, el agua tiene una alta tensión superficial que hace que adopte forma esférica ante una superficie hidrófoba. Otro factor importante en la mojabilidad, y lo que muchas veces pasa desapercibido, es la rugosidad de las superficies, que provoca que los materiales sean más repulsivos a los líquidos que cuando son planos. Es justamente la razón por la cual la hoja de loto y los pétalos de rosa presentan superhidrofobicidad (Bhushan, B., 2010).



ermoleculares en una gota de líquido.

## Aplicaciones

En una época de avances tecnológicos sin precedentes, el uso de dispositivos de bolsillo, como lo son teléfonos celulares, cámaras, tabletas, etcétera, requiere de cierta protección a accidentes, tales como el mojado de las partes electrónicas internas. Compañías de telefonía móvil han optado recientemente por la fabricación de modelos impermeables en donde simplemente son colocadas grandes cantidades de adhesivos que sellan herméticamente el dispositivo. Esto sólo los hace "resistentes" hasta cierto punto. Algunas empresas como Ultratech International, han desarrollado productos repelentes al agua o hidrocarburos. Pero todo esto se logra, en su mayoría, a base de

productos químicos que incrementan el valor del producto final.

Una aplicación bastante útil del mojado es la absorción de crudo, resultado de derrames petroleros en el mar; científicos de todo el mundo abordan este problema de implicaciones ecológicas altísimas. Investigadores del Instituto de Tecnología de Harbin (China) y del Laboratorio Nacional de Argonne (EUA) desarrollan un material poroso en 3D (una esponja) (Lee, A., 2016) a base de polímeros que absorben hidrocarburos como el aceite lubricante, gasolina, octano, crudo, entre otros, y repele el agua, lo que lo convierte en un material perfecto para utilizarse en la separación de contaminantes oleosos vertidos accidentalmente en los mares y océanos (Zhu, Q., 2013). Otra aplicación es la de los hidrogeles, materiales altamente hidrófilos que absorben el agua presente en el ambiente y la almacenan, permitiendo con esto obtener agua en lugares desérticos.

En la actualidad, se diseñan estrategias para la generación de energía eléctrica a partir del flujo de gotas de agua de lluvia sobre superficies mediante nanogeneradores triboeléctricos (Liu, Y., 2018). Esta innovación surge de la exigencia de cubrir la necesidad de electricidad en días con lluvia cuando las celdas solares no reciben la energía necesaria del sol para producirla.

Todos estos trabajos abordan la necesidad de modificar química y físicamente las superficies con el fin de lograr repeler o absorber líquidos a bajos costos (Bhushan, B., 2016).

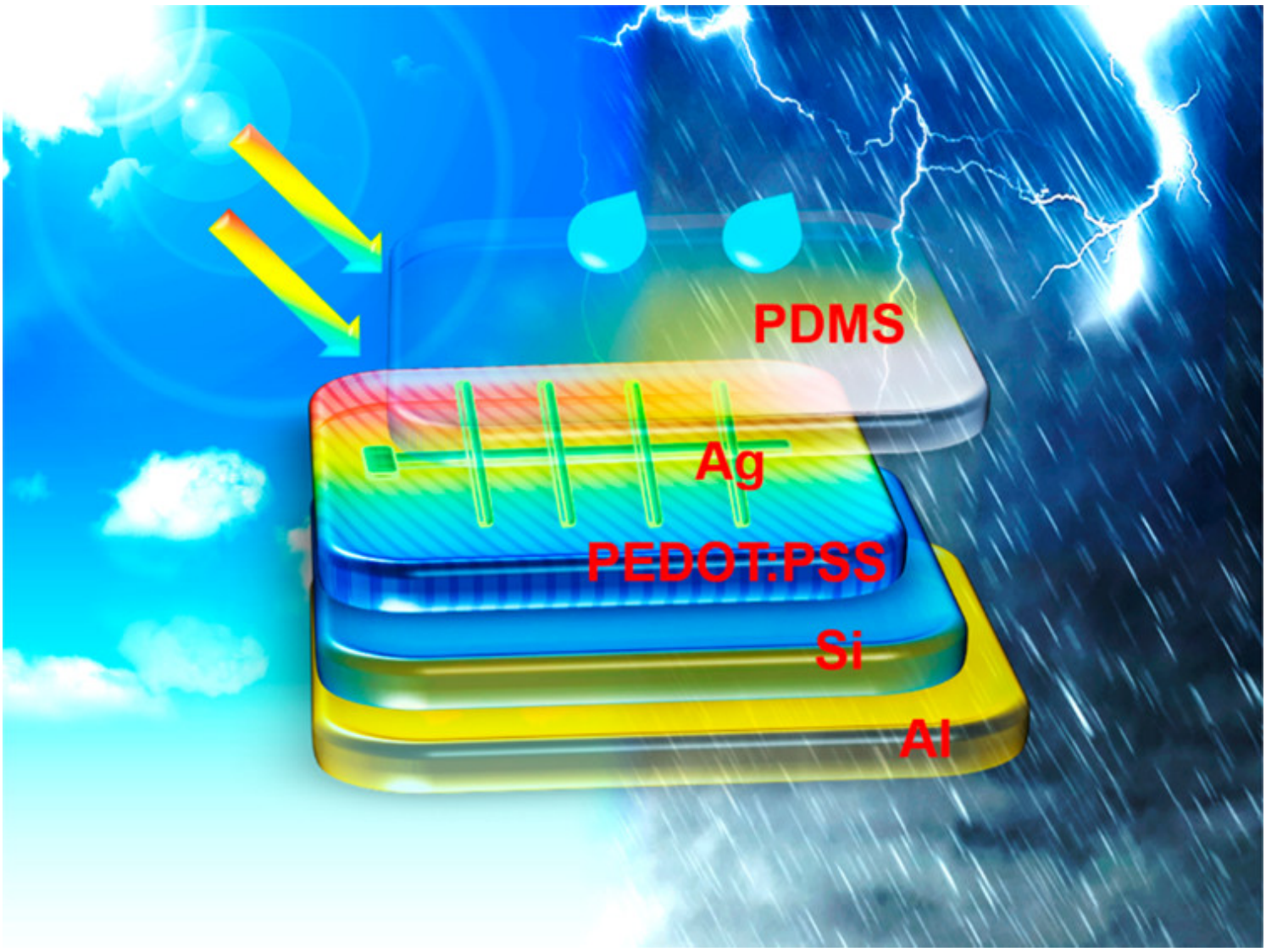



Figura 4. Reimpreso con permiso de Liu, Y., (2018). Copyright 2018, American Chemical Society.

## Investigación sobre el mojado

Desde Leonardo da Vinci en el siglo XV, en su famoso *Codex Leicester*, se tienen referencias de análisis sobre el fenómeno de mojado. Numerosos estudios se realizan a la fecha, entre ellos destaca el de una mujer italiana autodidacta llamada Agnes Pockels, que en 1891 desarrolló las bases de lo que conocemos como *Balanza de Langmuir* a partir de las observaciones que hacía mientras lavaba platos en su casa. El hecho de evitar el mojado implica que la diferencia de energía entre la superficie del sólido y el líquido sean considerables, esto se logra muchas veces creando rugosidades que al entrar en contacto con líquidos atrapan aire y provocan que la tensión superficial "aparente" del sólido disminuya. Un modelo que describe este tipo de mojado es el conocido como

Modelo de Cassie-Baxter propuesto en 1944, el cual implica la formación de bolsas de aire que ayudan a repeler los líquidos debido a su poca afinidad con los mismos.

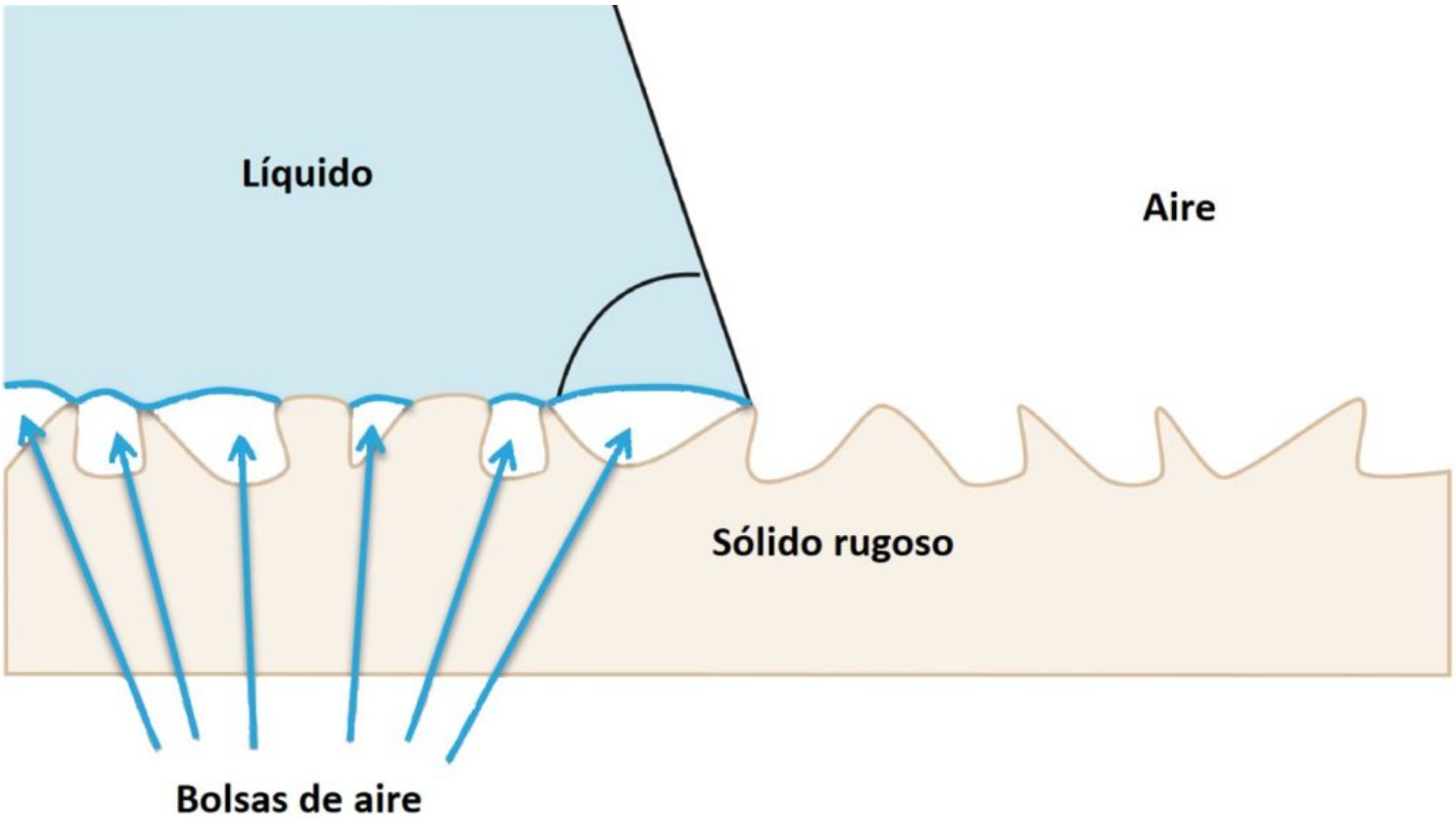



Figura 5. Modelo de Cassie-Baxter.

En 1977, Wilhelm Barthlott descubrió las funciones y la habilidad de autolimpieza de la estructura jerárquica de algunas plantas, como las hojas de loto (Bhushan, B., 2012). Fue así como el loto se convirtió en uno de los arquetipos para aplicaciones en superficies superhidrófobas y autolimpiables. Pero no solo las plantas sirven de inspiración para crear materiales con mejores propiedades, también lo son diversos tipos de aves, insectos y reptiles; como las patas del gecko que le permiten escalar casi cualquier superficie debido a su alta adherencia a las superficies (haciéndolo un *spider-man* real), las alas de las mariposas repelentes al agua, las patas de los zancudos que les permiten caminar sobre el agua (Crawford, R. J., 2015) y muchos más. Al hecho de imitar a la naturaleza como fuente de inspiración de nuevas tecnologías se le conoce como *bio-mimetismo*.

Un proceso involucrado en el fenómeno de mojado es la difusión de los líquidos sobre las superficies. Esto fue estudiado por Pierre Gilles de Gennes (premio Nobel de Física en 1991), debido a sus implicaciones en capilaridad, lubricación, etcétera. Se utilizan líquidos de baja volatilidad y por

diversas técnicas experimentales se observa cómo evoluciona la forma de las gotas sobre los sólidos. Un resultado de su investigación es conocido como *película precursora*, principal responsable de que las superficies se mojen. Una de las técnicas utilizadas en este tipo de estudios es llamada microscopía de interferencia, que se basa principalmente en el principio de superposición. Como resultado de ello se generan anillos concéntricos de interferencia destructiva y constructiva que mediante algunas ecuaciones de óptica y trigonometría pueden ofrecernos información como volumen, altura y ángulo de contacto (Pérez, E., 2001).

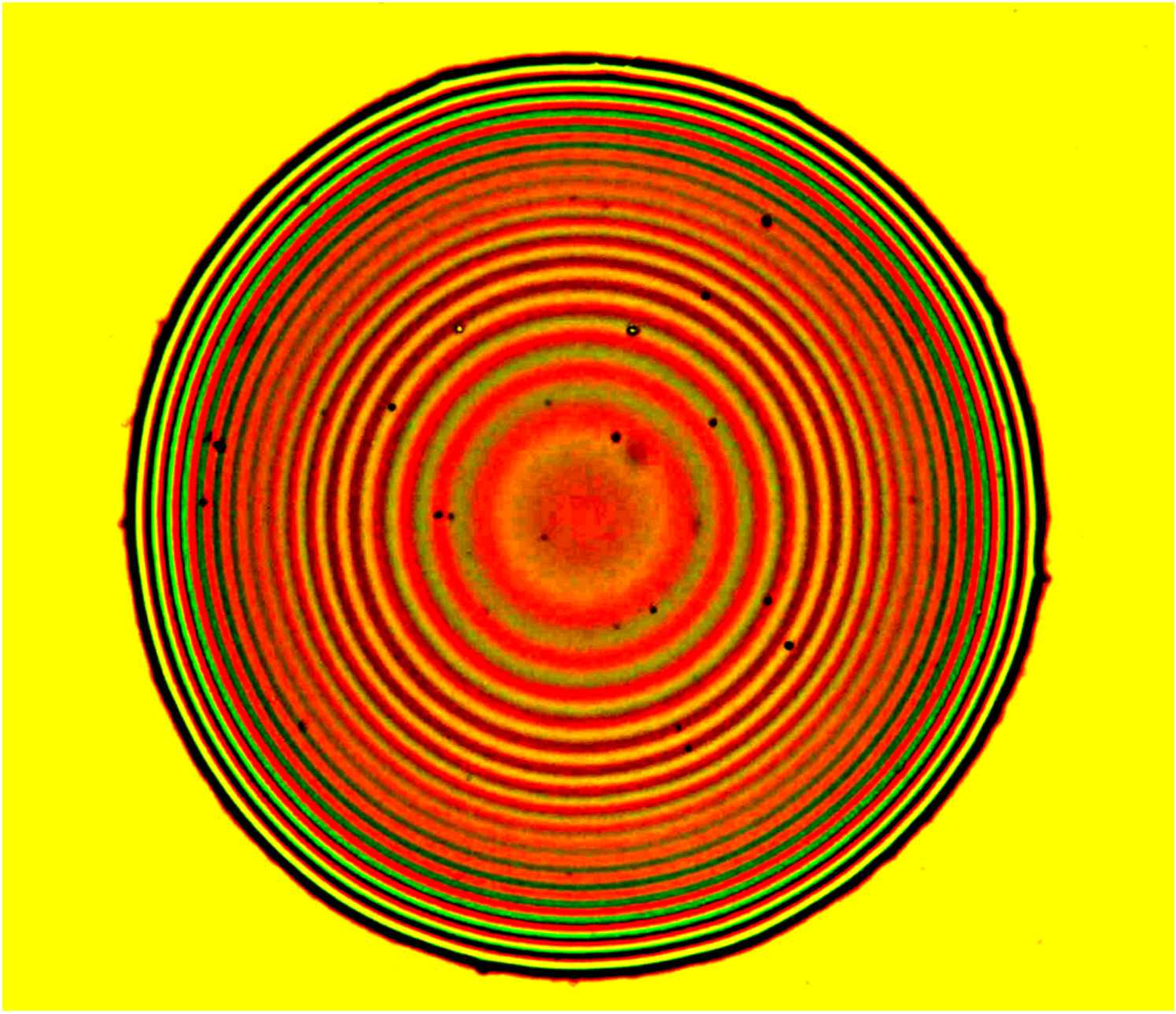


Figura 6. Gota de polidimetilsiloxano (PDMS) de aproximadamente 1x10-12L. Los anillos se generan

por la interferencia de la luz monocromática con la que es iluminada. Cortesía de la Fis. Penélope Renee Alejandre López.

Otras técnicas como la microscopía de fuerza atómica (AFM) y la microscopía electrónica de barrido (SEM) revolucionaron la forma de caracterizar las superficies a escalas tan pequeñas como 5 angstroms o menos.

El fenómeno de mojado es de vital importancia en los nuevos descubrimientos tecnológicos que hasta ahora nos facilitan los quehaceres diarios.C²

## Bibliografía


- Bormashenko, E. (2013), *Wetting of Real Surfaces*, Berlin, Boston: De Gruyter. Retrieved 26 Feb. 2019, from https://www.degruyter.com/view/product/129786.
- Barthlott, W. (1992), *Die Selbstreinigungsfähigkeit pflanzlicher Oberflächen durch Epicuticularwachse*, Klima-und Umweltforschung an der Universität Bonn, 117-120.
- Feng, L., Zhang, Y., Xi, J., Zhu, Y., Wang, N., Xia, F., & Jiang, L. (2008), *Petal effect: a superhydrophobic state with high adhesive force*, Langmuir, 24(8), 4114-4119.
- Bhushan, B., & Nosonovsky, M. (2010), *The rose petal effect and the modes of superhydrophobicity*, Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 368(1929), 4713-4728.
- Lee, A., Elam, J. W., & Darling, S. B. (2016), *Membrane materials for water purification: design, development, and application*, Environmental Science: Water Research & Technology, 2(1), 17-42.
- Zhu, Q., Chu, Y., Wang, Z., Chen, N., Lin, L., Liu, F., & Pan, Q. (2013), *Robust superhydrophobic polyurethane sponge as a highly reusable oil-absorption material*, Journal of Materials Chemistry A, 1(17), 5386-5393.
- Liu, Y., Sun, N., Liu, J., Wen, Z., Sun, X., Lee, S. T., & Sun, B. (2018), *Integrating a silicon solar cell with a triboelectric nanogenerator via a mutual electrode for harvesting energy from sunlight and raindrops*, ACS nano, 12(3), 2893-2899.
- Bhushan B. (2016), *Roughness-Induced Superliquiphilic/phobic Surfaces: Lessons from Nature*, In: Biomimetics. Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering. Springer, Cham.
- Bhushan, B. (2012), *Biomimetics: Bioinspired Hierarchical-Structured Surfaces for Green Science and Technology*, Springer-Verlag.
- Crawford, R. J., & Ivanova, E. P. (2015), *Superhydrophobic surfaces*, Elsevier.
- Pérez, E., Schäffer, E., & Steiner, U. (2001), *Spreading dynamics of polydimethylsiloxane drops: Crossover from Laplace to van der Waals spreading*, Journal of colloid and interface science,

234(1), 178-193.