

POLARÍMETROS

*José Ramón Bertomeu Sánchez
Instituto de Historia la Ciencia “López Piñero”
(Universitat de Valencia-CSIC)*

Al contrario de lo que ocurre con algunos animales, el ojo humano no puede distinguir entre la luz polarizada y la no polarizada, por lo que el estudio de esta importante propiedad de la luz no se ha producido hasta fechas más o menos recientes. La luz polarizada puede ser definida como un conjunto de ondas luminosas que vibran todas ellas en un solo plano, mientras que en la luz no polarizada el plano de vibración varía rápidamente, a razón de cien millones de veces por segundo (Pye, 2001). Se puede visualizar fácilmente el fenómeno con un símil mecánico como, por ejemplo, una cuerda que se hace serpentear formando ondas entre sus dos extremos. Si no existe ningún impedimento —"si no está polarizada", se diría en el caso de la luz— la cuerda puede moverse en cualquier plano, es decir, puede adoptar una vibración perpendicular, paralela u oblicua al suelo, cambiando fácilmente de una situación a otra con un pequeño movimiento de los extremos de la cuerda. Si, por el contrario, la cuerda se mueve entre dos planchas metálicas perpendiculares al suelo y muy próximas, como aparece en la figura adjunta, es evidente que sólo podrá vibrar en el plano perpendicular al suelo. En este caso, que corresponde a la luz polarizada, si se colocan dos nuevas planchas metálicas muy próximas pero paralelas al suelo, la vibración de la cuerda se hace imposible. Sólo podrá vibrar si las nuevas planchas se encuentran en la misma posición que las primeras, lo que en el caso de la figura supone que las dos planchas sean situadas en posición perpendicular al suelo. En el caso de la luz, como se verá más adelante, los prismas polarizadores juegan el mismo papel que las planchas metálicas, es decir, cuando un rayo luminoso sólo puede ser observado a través de estos prismas si se encuentran en una posición adecuada uno respecto a otro.

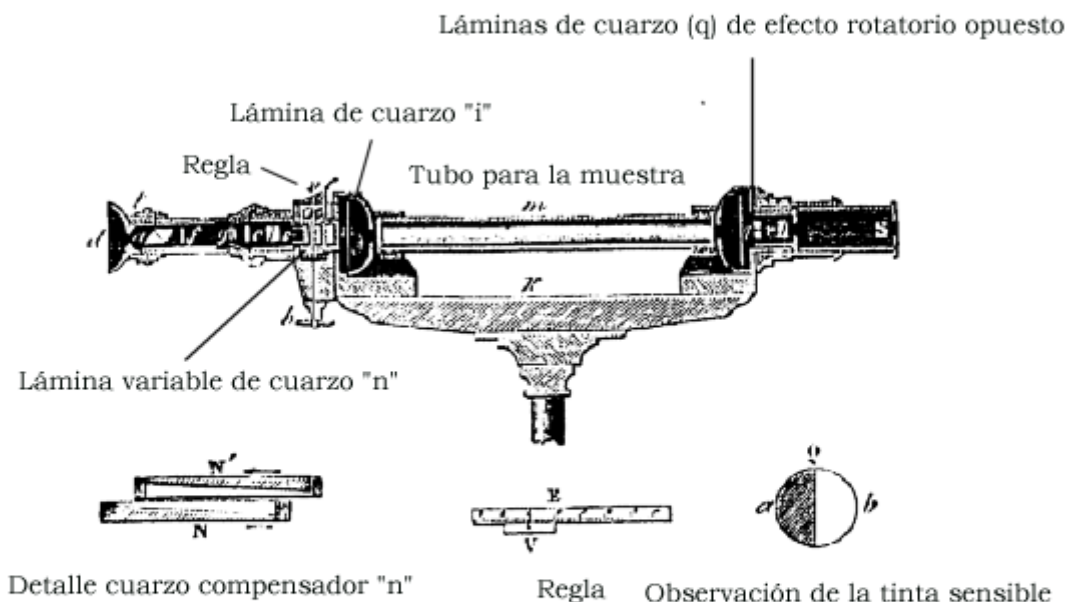
Si bien el fenómeno aparece ya descrito en trabajos de Christian Huygens sólo fue estudiado a fondo en el siglo XIX, gracias a las investigaciones de autores como el francés Jean Baptiste Biot (1774-1862) o el alemán Thomas Johann Seebeck (1770-1831). Estos analizaron no sólo los ya conocidos efectos producidos por sólidos cristalinos como el espato de Islandia, sino también el comportamiento de disoluciones de ciertas sustancias de origen vegetal y animal. Para confirmar sus experiencias, Biot encargó al constructor de instrumentos Nicolas Fortin (1750-1831) un sencillo aparato que consistía en un prisma analizador y un tubo cilíndrico para introducir la muestra analizada, a través del que pasaba la luz polarizada (Ward, 1980). De este modo, Biot pudo comprobar que ciertas sustancias de origen natural como “el aceite esencial del laurel” hacían “girar la luz de derecha a izquierda, al igual que la trementina” mientras que, por el contrario, “el aceite esencial del limón y la disolución de alcanfor en alcohol” lo hacían “de izquierda a derecha” (Biot, 1816). Más adelante, las primeras sustancias fueron denominadas “levógiras” y las segundas “dextrógiras”. También comprobó Biot que la desviación era

mayor a medida que aumentaba el grosor de la capa de líquido atravesada y, más adelante, diseñó un polarímetro semejante al que aparece en la figura adjunta, con el que realizó numerosas investigaciones sobre un gran número de sustancias.

En 1828, el fabricante de instrumentos escocés William Nicol (1768-1851) ideó los prismas que acabaron siendo conocidos con su nombre, que se convirtieron, más adelante, en una pieza clave de los polarímetros. Se trataba de dos porciones de espato de Islandia, una variedad incolora de la calcita, unidas por una de sus caras. Un prisma nícol permite polarizar la luz en un determinado plano, de modo que, al pasar por un nuevo prisma de nícol, sólo se observa la intensidad luminosa inicial si éste último se encuentra en la misma posición que el primero. Si entre los dos prismas se coloca una sustancia ópticamente activa, el plano de la luz polarizada girará al pasar a través de esta sustancia y, por lo tanto, el segundo prisma deberá ser colocado en una posición ligeramente diferente al primero para observar luz. La diferencia entre la posición del primero y la del segundo indica el poder rotatorio de la muestra analizada y a partir de este valor se pueden calcular diversas características de la sustancia. Esta es la base teórica de la mayor parte de los polarímetros de la colección de la Universitat de València, aunque no todos estos instrumentos funcionan de acuerdo con este principio. Un ejemplo de estos últimos es el famoso polarímetro de J. G. C. Nörrenberg, que alcanzó gran difusión en la segunda mitad del siglo XIX. Como puede comprobarse en la figura adjunta, este aparato no emplea ningún prisma nícol.

Los polarímetros de la colección de la Universitat de València se asemejan a los que fueron introducidos en la segunda mitad del siglo XIX con el objetivo de realizar determinaciones cuantitativas de la concentración química de ciertas sustancias. Quizás la sustancia que jugó un mayor papel en estas investigaciones fue el azúcar, cuyo interés comercial se acrecentó a lo largo del siglo XIX hasta transformarse en un producto de gran importancia económica. Bajo este impulso, se desarrollaron aparatos especialmente adaptados para este objetivo que se denominaron “sacarímetros”. Estos aparatos fueron también empleados en medicina para la determinación del contenido de azúcar de la orina de los diabéticos, unas investigaciones en las que también Biot fue pionero en los años cuarenta del siglo XIX (Ward, 1980). También fueron empleados para investigaciones mucho más teóricas encaminadas a dilucidar, por ejemplo, las características del equilibrio químico o la velocidad de las reacciones químicas. En este sentido, el polarímetro es un buen ejemplo de lo que el historiador Norton Wise denomina “mediadores”, instrumentos que viajan a través de varios espacios institucionales y culturales (universidades, centros de investigación, industrias) y que sirven, en cierto modo, de vínculo entre ellos. El principio de funcionamiento de estos sacarímetros es bastante simple. Disponen de un sistema destinado a la medición de la variación del plano de polarización de la luz. Dado que esta variación se puede relacionar fácilmente con la concentración de la sustancia, el aparato puede calibrarse y emplearse para determinar la cantidad de un determinado producto en una muestra de composición desconocida. Siguiendo este principio, diversos fabricantes de instrumentos diseñaron varios tipos de polarímetros en la segunda mitad del siglo XIX, tal y como queda reflejado en los instrumentos de la colección de la Universitat de València, donde aparecen polarímetros de compensación y polarímetros de penumbra, así como instrumentos más recientes dedicados a la enseñanza.

Esquema del polarímetro de Soleil



Polarímetro de Soleil. Este aparato funciona por compensación, es decir, mediante el empleo de otra sustancia ópticamente activa que actúa en sentido contrario a la que se va a analizar. Según puede verse en la figura adjunta, la luz se introduce por el orificio S y atraviesa un primer polarizador (r) y una lámina (q) que consta de dos hojas de cuarzo de rotación opuesta, dispuestos de tal modo que producen una coloración violácea denominada "tinta sensible". Este fenómeno se produce debido a la diferente desviación producida en cada color (longitud de onda) de la luz. En esta situación, basta un pequeño movimiento del prisma (o del analizador) para que se produzca una notable variación de color. Tras el tubo que contiene la muestra (m), la luz atraviesa una nueva lámina simple de cuarzo (i) y un segundo cuarzo de rotación inversa al anterior y de espesor variable, ya que son dos cuñas móviles (N y N') que están unidas a una regla (E). Gracias a la posibilidad de variar su espesor, este segundo cuarzo puede colocarse de modo que neutralice la rotación producida por el cuarzo (i), de modo que se puede así fijar el cero en la escala. Tras este prisma compensador (n) se encuentra un analizador (c). Si no existe ninguna muestra activa en el aparato, la luz atraviesa los cuarzos (q) dando dos haces de polarización opuesta. Cuando el compensador está colocado en el cero de la escala, el poder rotatorio de esta lámina variable de

cuarzo (n) y la anterior (i) se anulan, de modo que se observan dos semicírculos del mismo color (tinta sensible). Pero si se varía un poco la posición del compensador (n), aumentando, por ejemplo, el espesor de la escala, la rotación será diferente para cada uno de los haces luminosos y, por lo tanto, el analizador ofrecerá dos semicírculos de coloración diferente. Lo mismo ocurrirá en el caso de introducir una muestra en el tubo (m), por lo que para atenuar su acción rotatoria será necesario mover el compensador (n), aumentando o disminuyendo el grosor de esta lámina de cuarzo. Como este compensador (n) está unido a la escala (E) resulta posible realizar una estimación del poder rotatorio de la muestra y, a través de él, de la concentración de la sustancia ópticamente activa en la misma. La observación del fenómeno está favorecida porque el sistema está diseñado para producir situaciones próximas a la “tinta sensible”, una coloración que cambia rápidamente con pequeñas variaciones del plano de polarización, tal y como se ha indicado.]

El modelo más antiguo de estos sacarímetros de la colección (Q-0133) pertenece al grupo de los “polarímetros de compensación” o “polarímetros de Soleil”, por ser este fabricante francés, J. B. F. Soleil (1798-1878), quien popularizó su uso a mediados del siglo XIX (Brenni, 1996). En la figura adjunta se ofrecen los detalles técnicos de su funcionamiento, si bien no resultan imprescindibles para el correcto uso, lo que permitió una rápida difusión de este aparato entre personas con escasos o nulos conocimientos científicos. Para medir la calidad del azúcar con este polarímetro resultaba necesario calibrarlo, es decir, establecer la cantidad de azúcar que corresponde a cada valor del 0 y al 100 de la escala del instrumento. Primero se empleaba agua destilada que se colocaba en el tubo (m) y se marcaba el valor “0” en la escala cuando se observaba igualdad de coloración en los dos semicírculos del objetivo. Luego se utilizaba una cantidad fija de azúcar puro para establecer el valor 100. Según describe el químico francés Eugène Peligot (1811-1890) en su popular manual de química agrícola, una de las mezclas habituales empleadas para la calibración era una disolución de 100 ml de agua con 16,19 g de azúcar puro. El tubo (m) se llenaba con esta disolución y se marcaba el valor 100 en la escala en el punto en el que quedaba, tras obtener de nuevo la igualdad de coloración gracias al movimiento del prisma compensador (n). Una vez realizada esta calibración, se analizaban muestras de azúcar de calidad desconocida empleando siempre 16,19 g de estas muestras disueltas en agua hasta formar 100 ml. De este modo, la escala permitía establecer el valor de la riqueza de la muestra, denominada, en este caso, “titulación sacarimétrica” (Peligot, 1883). Así, por ejemplo, si la escala indicaba 42, se podía concluir que la muestra contenía un 42% de azúcar puro. Estas mediciones no estaban exentas de problemas debido a la presencia de otras sustancias ópticamente activas diferentes del azúcar en la disolución, lo que, en ocasiones, dependía de la temperatura, por lo que los resultados podían variar en función de esta última variable. También la presencia de cenizas o sustancias coloreadas podían ofrecer dificultades a la medición. Otro problema era las diferentes cantidades empleadas para realizar la calibración de los polarímetros, por lo que diversos autores intentaron establecer escalas de uso general. Una de las escalas más importantes fue introducida por el alemán K. Ventzke a mediados del siglo XIX y fue ligeramente modificada en 1900 por una Comisión Internacional encargada de uniformar los métodos de análisis del azúcar. En 1932, otra comisión internacional adoptó una nueva escala en grados de azúcar (°S) en la que la solución estándar fue definida como 26.000 g de sacarosa en 100 ml de agua a 20 °C (Ward, 1980).

Los restantes polarímetros más antiguos de la colección de la Universitat de València son “polarímetros de penumbra”. Uno de ellos (F-0531) fue realizado por los sucesores de Leon Laurent (1840-1909), un constructor de instrumentos de París que consiguió asociar su nombre con uno de los más populares polarímetros de penumbra del siglo XIX. Según el propio constructor, la parte novedosa de su instrumento consistía en una lámina delgada de yeso que cubría la mitad de un diafragma situado entre el polarizador y el analizador. Mediante este sencillo dispositivo, se podía dividir el rayo luminoso en dos secciones que producían en el objetivo dos semicírculos de diferente intensidad luminosa. La luminosidad de estos semicírculos sólo se igualaba en una determinada posición relativa del polarizador y el analizador que se conseguía gracias al movimiento de este último. Gracias a la escala móvil sobre la que estaba situado el analizador, se podía realizar la medida del giro producido en el plano de polarización de la luz (Laurent, 1874). Otros tres polarímetros de penumbra fueron construidos por Franz Schmidt & Hermann Haensch, una casa berlinesa que fue una de las principales productoras de polarímetros desde los años sesenta del siglo XIX y que todavía comercializa algunos modelos de polarímetro semejantes a los de la colección dirigidos a la enseñanza. Los tres polarímetros tienen inscrito el nombre del fabricante sobre el círculo que mide el giro óptico y tienen los números de serie 6060 (Q-0180), 6591 (Q-0055) y 11536 (Q-0183). Se trata de polarímetros de Lippich [check for data], uno de los cuales aparece descrito en el catálogo Ströhlein & Co con el número 3809. Según este catálogo, este polarímetro empleaba tubos de 220 mm de largo e incluía dos polarizadores diseñados también por Lippich. Finalmente, también existen dos instrumentos mucho más recientes (F-0021 y F-0022), realizados por la antigua casa Dr. Steeg & Reuter, que corresponden a versiones modernas del polarímetro diseñado por el químico alemán Eilhardt Mitscherlich (1794-1863) en los años cuarenta del siglo XIX. También existe otro modelo más reciente (F-0030) distribuido por Sogeresa (Madrid) y que consta de un solo tubo.