

## BALANZAS

*Antonio García Belmar  
Departamento de Salud Pública  
Universidad de Alicante*

Las balanzas son probablemente uno de los instrumentos científicos con mayor carga simbólica. Su imagen aparece asociada a la justicia como emblema de igualdad e imparcialidad o a la economía como símbolo de los intercambios comerciales. También en la cultura científica la balanza ha adquirido un fuerte carácter simbólico, al asociarse con las condiciones de rigor, precisión y cuantificación necesarios en toda ciencia. Así aparece sobre todo en la memoria histórica de los químicos, para quienes, como muestra Bernadette Bensude-Vincent en este mismo volumen, la balanza aparece asociada al surgimiento de la química como ciencia. Gracias a su empleo, recordaba José Casares Gil, se “descubrieron las leyes que han hecho de la Química una verdadera ciencia”. Este importante autor español de libros de texto de química y análisis químico se hacía eco de una idea común en la historia tradicional de la química que sitúa a finales del siglo XVIII el momento en que esta disciplina adquiere la condición de “ciencia”. También relaciona este momento fundacional con autores como Antoine Laurent Lavoisier y con el empleo de instrumentos de análisis cuantitativo como la balanza que permitieron, se dice en ocasiones, descubrir la “ley de la conservación de la masa”.

Lo cierto es que el uso de la balanza, la interpretación física de su funcionamiento e incluso las nociones básicas acerca de la conservación de la masa en las que se basaban sus usos analíticos eran conocidas mucho antes de que la química se convirtiera en una disciplina científica independiente. Además de su uso tradicional en el comercio, las balanzas habían sido ampliamente utilizadas por farmacéuticos para la preparación de remedios medicinales y por los ensayadores de metales para el cálculo de las proporciones de metales presentes en las monedas. En ambos casos, la precisión y la sensibilidad de las balanzas habían tenido una importancia central y se habían conseguido algunos avances técnicos en su fabricación.

**Desde un punto de vista físico, la balanza de brazos iguales no es más que una palanca de primera clase, esto es, una palanca con el punto de apoyo situado entre los puntos de aplicación de las fuerzas. Su sensibilidad y su precisión dependen de muchos factores, pero los determinantes son la longitud y el peso total de los brazos y la exacta igualdad de éstos, la posición del punto de apoyo central respecto al centro de gravedad de todo el sistema, la posición en un mismo plano del punto de apoyo central y los puntos de suspensión de los extremos y el peso del cuerpo que deseamos medir. La incidencia de estos factores en la sensibilidad queda establecida en la siguiente fórmula:**

$$\operatorname{Tg} \alpha = p \cdot l / q \cdot d$$

Así pues, tanto mayor es la sensibilidad cuanto más largos sean los brazos de la balanza ( $l$ ), cuanto más pequeño sea el peso de éstos ( $q$ ) y cuanto menor sea la distancia entre centro de gravedad y el punto de apoyo central ( $d$ ). Esta es la razón por la que las balanzas utilizadas por los ensayadores de metales contaban con largos y finos brazos de metal.

Las balanzas de los farmacéuticos y ensayadores de metales pronto mostraron sus limitaciones para los grados de precisión y sensibilidad necesarios en las operaciones de síntesis y análisis químicos realizadas desde finales del siglo XVIII. La enorme longitud de los brazos producía grandes oscilaciones en el fiel y hacía largo y complicado establecer el punto de equilibrio. Por otra parte, las deformaciones de los brazos producidas por el peso de la carga o por las variaciones de temperatura introducían errores que resultaban inaceptables para los grados de precisión exigidos en las operaciones químicas. El desarrollo de las investigaciones químicas fue uno de los factores que impulsaron las principales innovaciones técnicas introducidas por los más prestigiosos fabricantes franceses e ingleses de instrumentos científicos desde las últimas décadas del siglo XVIII. Junto a autores como Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) o Antoine Fourcroy (1755-1809) encontramos a los principales fabricantes de instrumentos de París como Nicolas Fortín (1750-1831) y Pierre Bernard Mégnié.

No menos decisivo fue el desarrollo de las políticas fiscales y, en especial, las relacionadas con el control de los impuestos asociados a las bebidas alcohólicas. Uno de los procedimientos más comunes para determinar la proporción de alcohol en las bebidas era el cálculo de la densidad relativa de la mezcla mediante balanzas hidrostáticas. A finales del siglo XVIII, el gobierno encargó a la Royal Society de Londres estudiar con detalle los medios posibles para mejorar la sensibilidad de las balanzas. El constructor de instrumentos Jesse Ramsden (1735-1800) fue uno de los encargados de tal misión y el que introdujo algunas de las modificaciones más importantes. Comprobó que la flexión producida por el peso sobre los brazos de la balanza era una de las principales causas de la imprecisión. Ideó un sistema para obtener brazos más rígidos y ligeros al construirlos en forma de dos conos de latón huecos unidos por la base. Además los hizo apoyarse sobre una cuchilla que descansaba sobre una superficie plana de ágata. Estas modificaciones redujeron las variaciones en el punto de equilibrio de las balanzas tradicionales, pero no lograron reducir los largos tiempos de pesada provocados por las grandes oscilaciones que los largos brazos transmitían a la aguja. Fue el fabricante londinense Thomas Charles Robinson (1792-1841), estrecho colaborador del químico William Hyde Wollaston (1766-1828), quién ideó hacia 1820 un nuevo tipo de balanzas con brazos más cortos formados por una estructura triangular hueca que los hacía extremadamente ligeros y rígidos, a tiempo que permitían acortar considerablemente el tiempo de pesada manteniendo altos niveles de sensibilidad y precisión.

A lo largo del siglo XIX, los constructores de balanzas europeos introdujeron numerosas innovaciones técnicas en sus modelos, impulsados por la creciente demanda de precisión, sensibilidad y rapidez en las pesadas impuestas en los trabajos químicos. Se generalizó el uso de urnas para proteger las balanzas de los efectos corrosivos de los gases emitidos en los laboratorios, se añadieron sistemas para ajustar la longitud de los brazos, se introdujeron materiales más resistentes al deterioro como platino, cristal, nácar o níquel, etc. y se generalizó el uso del *reiter*, *rider* o jinete, un ingenioso dispositivo que permitía aumentar la sensibilidad de las balanzas hasta las décimas de miligramo. Estas innovaciones técnicas permitieron además concebir balanzas de brazos mucho más cortos con grados de sensibilidad

similares. Fue el ingeniero alemán Paul Bunge (1839-1888) uno de los primeros en proponer este tipo de balanzas de brazos cortos, que el constructor alemán Florenz Sartorius (1846-1925) generalizaría en el último tercio del siglo XIX. Además de esta importante innovación en el diseño de las balanzas, Sartorius incorporó nuevos materiales en su construcción. El más importante fue el aluminio, que había comenzado a producirse industrialmente mediante el sistema de fabricación ideado por el químico Friedrich Wöhler (1800-1882). Con este nuevo material, logró alcanzar grados de ligereza y rigidez mucho mayores que los permitidos por los metales tradicionales, ayudando a compensar de este modo la pérdida de sensibilidad producida por el acortamiento de los brazos. Las balanzas producidas por Sartorius desde 1870 en sus talleres de Göttingen se convirtieron en el referente principal de las balanzas analíticas hasta bien entrado el siglo XX. Nuestra colección cuenta con una amplia muestra de balanzas Sartorius entre las que se encuentran algunos modelos de principios del siglo XX (Q-0005; Q-0006; Q-0116; ).

Las innovaciones técnicas posteriores se han encaminado más a facilitar y disminuir el tiempo de la pesada que a aumentar los grados de precisión y sensibilidad de las balanzas. Y uno de los factores clave para lograrlo ha sido la introducción de sistemas mecánicos que evitasen parcial o totalmente la adición manual de las pesas en la balanza. Uno de los primeros fue el *Chainomatic*, un sencillo mecanismo patentado en 1915 por el constructor Christian A. Beker (1874-1946) que permitía modificar el peso en uno de los brazos de la balanza mediante una fina cadena accionada manualmente desde el exterior de la urna que la albergaba. Ligeras modificaciones en la longitud de la cadena que pendía del brazo producía pequeñas variaciones de peso de hasta una décima de miligramo. Numerosos fabricantes idearon nuevos mecanismos que permitieran añadir las fracciones de peso inferiores a un gramo, mientras que las superiores eran añadidas manualmente. En la colección contamos con varios ejemplares de este tipo de balanzas del fabricante Cobos (Q-0109; Q-0212). Un sencillo mando graduado permitía accionar el mecanismo que añadía sobre el brazo izquierdo de la balanza pesas de hasta 1 g.. El modelo “Selecta” de la casa Sartorius fue una de las primeras balanzas completamente mecanizadas que permitía realizar la pesada sin necesidad de pesas externas (Q-0136). La balanza consta de un solo platillo sobre el que se deposita la muestra. Sobre el otro brazo pende un complejo sistema de barras y pesas colgantes que son añadidas mediante un mecanismo accionado manualmente desde el exterior. Una escala graduada sobre un visor permite establecer el punto de equilibrio .

Un paso decisivo en esta nueva generación de balanzas de precisión mecanizadas fue la puesta a punto del llamado sistema de “pesada por sustitución”, en el que el equilibrio se reestablece eliminando pesas en lugar de añadirlas. Las balanzas basadas en este principio constan de un solo platillo que pende del mismo brazo que soporta el sistema de pesas. El segundo brazo esta cargado con un peso constante que deja en equilibrio la balanza cuando ésta se encuentra descargada. El equilibrio roto al depositar una muestra sobre el platillo se reestablece retirando pesas mediante un sistema mecánico de palancas accionado manualmente desde un mando exterior. La gran ventaja de este tipo de balanzas es que el peso soportado por los brazos es constante e independiente de la masa del objeto que se esté pesando, lo que elimina las variaciones de sensibilidad en función de la carga total . Este tipo de balanzas fueron popularizadas por el constructor suizo Erhard Mettler (1917-2000) que comenzó a producir en serie los primeros modelos entre 1945 y 1946 en su compañía Mettler Instrumente AG, establecida en Küsnacht (Suiza). La colección cuenta con alguno de los primeros ejemplares de este nuevo tipo de balanzas que

rápidamente se impuso en los laboratorios frente a las balanzas tradicionales de dos brazos por la rapidez y facilidad con la que podían realizarse las pesadas (Q-0060; Q-0085; Q-0094; Q-0207; F-0554).

El trabajo cotidiano en los laboratorios obliga a realizar pesadas con grados de precisión muy diferente. Tarar un recipiente, realizar una prepesada o determinar el peso de cantidades relativamente grandes de sustancias, para las que se requieren grados de precisión bajos, son tareas habituales para las que no se usan balanzas analíticas de gran sensibilidad sino las llamadas balanzas granatarias o las balanzas de tipo Reberval que pueden llegar a pesar cuerpos de hasta 2 kg con una precisión de hasta 0,1 g.

### **Balanzas hidrostáticas**

Algunos autores consideran que las balanzas químicas de precisión comenzaron a desarrollarse a partir de las balanzas hidrostáticas utilizadas en el comercio y en el control fiscal de las bebidas alcohólicas o por los ensayadores de metales para el cálculo de densidades relativas de sólidos y líquidos. El creciente interés que desde la segunda mitad del siglo XVIII atrajo el estudio cuantitativo de la composición química de sustancias sólidas, líquidas y posteriormente también de las gaseosas impulsó el perfeccionamiento de las balanzas hidrostáticas necesarias para calcular la densidad relativa de disoluciones químicas. La colección cuenta con una interesante colección de este tipo de balanzas del fabricante Cobos (F-0004; F-0005; F-0013; F-0015; F-0016).

La densidad relativa es la relación que existe entre el peso de un volumen determinado de un cuerpo y el de un volumen igual de agua destilada. El uso de las balanzas hidrostáticas para su cálculo se basa en el principio de Arquímedes, según el cual, al sumergirse un cuerpo en un líquido es empujado con una fuerza igual al peso del volumen de líquido que el cuerpo está desplazando al sumergirse. Las balanzas hidrostáticas son balanzas normales diseñadas especialmente para realizar pesadas en el aire y en líquidos, siguiendo procedimientos diferentes según se quiera determinar la densidad relativa de un sólido o de un líquido. En el primer caso, se pesa primero el sólido en el aire (P) y luego sumergido en agua destilada (P'), a una determinada temperatura que determina la densidad del agua ( $\delta$ ).

$$P_e = (P/P-P') \delta$$

**En el caso de los líquidos se utiliza un cuerpo de peso conocido (P). Primero se calcula el peso de este cuerpo (P') cuando se sumerge en el líquido cuyo peso específico se quiere conocer (Pe) y luego su peso sumergido en agua destilada (P'').**

$$P_e = (P-P'/P-P'') \delta$$

La balanza de Mohr-Westphal es una ingeniosa variante de la balanza hidrostática muy útil para determinar con gran precisión y rapidez la densidad relativa de líquidos (F-0100; Q-0123; Q-0124; Q-0214; Q-0215; M-0025). Se trata de una balanza de dos brazos desiguales, uno de ellos graduado en diez partes y dotado en su extremo de un gancho del cual pende un pieza de vidrio que es habitualmente un

termómetro de inmersión, llamado de Reimann, que mide la temperatura del líquido en cuestión. El peso de esta pieza es tal que cuando pende de la balanza sitúa a ésta en equilibrio. Al introducirse la pieza de vidrio en un líquido se altera el equilibrio que se reestablece mediante la colocación de un grupo de pesas especiales en forma de horquilla. La balanza va acompañada de cuatro pesas de este tipo que se cuelgan sobre el brazo graduado. Primero se sumerge la pieza en agua y se reestablece el equilibrio colgando la pesa A1 en el extremo de la balanza (el peso de A1 es pues igual al del volumen de agua desplazada por la pieza de vidrio). Posteriormente se sumerge la pieza de vidrio en el líquido cuya densidad relativa se desea conocer. El equilibrio se reestablece colocando convenientemente las pesas A2 (de igual peso que A1), B (que pesa la décima parte de A1 y A2) y C (que pesa la décima parte de B) en las ranuras del brazo graduado.