

FÍSICA *VERSUS* TECNOLOGÍA QUÍMICA: UN EJEMPLO DE LA POLÉMICA DECIMONÓNICA ALREDEDOR DE LA PRECISIÓN¹

LLUÍS GARRIGÓS OLTRA, CARLOS MILLÁN VERDÚ,
GEORGINA BLANES NADAL

Escola Politècnica Superior d'Alcoi

Resumen

En 1843 el médico Alfred Donné presentó a la Académie des Sciences de Paris un utensilio destinado a estimar el porcentaje de grasa de una leche mediante la simple observación visual. El procedimiento se fundamentaba en la medida de la diafanidad de un medio líquido, la leche, de manera que la concentración de la grasa en leche se podría estimar determinando el espesor de una capa láctea para el cual no fuera visible, a su través, una determinada señal luminosa. La presentación en sociedad del lactoscopio de Donné dió lugar a una sonada disputa entre miembros de la Académie des Sciences de Paris alrededor de una cuestión fundamental en la química del siglo XIX: la precisión de las medidas. En la presente comunicación se describe la polémica inicial y se estudian sus implicaciones en el ámbito de la praxis cotidiana que contraponía el análisis químico del contenido en grasa de la leche, extraordinariamente lento para un producto perecedero en el marco temporal de mediados del siglo XIX, a un análisis óptico fundamentado en la diafanidad de la leche, lo que conllevaba la aparición de ramificaciones en el ámbito teórico relativo a las ideas físicas implicadas en el proceso. Ecuaciones como la propuesta por el astrónomo von Seidel para interpretar los datos recogidos por el lactoscopio de Vogel (una modificación del lactoscopio de Donné), $y=(23.2/x)+0.23$, intentan generalizar los resultados que se obtienen con las técnicas de análisis óptico de la leche; aunque la concordancia entre estas expresiones empíricas y la propuesta por Lord Rayleigh para describir la diafanidad de un medio transparente no es excesiva, no es menos cierto que la tecnología relacionada con el estudio de la opacidad de una capa láctea evolucionó positivamente hasta finales del siglo XIX, adoptando ideas que venían del mundo del análisis colorimétrico de soluciones transparentes

Introducción

En 1995 Norton WISE editó las aportaciones que sobre los conceptos y la praxis de la precisión a lo largo del siglo XIX habían sido objeto de estudio en el seminario que sobre Historia de la Ciencia organizó la Universidad de Princeton en el curso 1991-1992. Como muy acertadamente afirma el editor en su introducción (página 4) *“precision is everything that ambiguity, uncertainty, messiness and*

¹Se ha respetado la grafía original en todas las citas literales (*Este trabajo forma parte del proyecto de investigación BHA 2000-0434, “La cultura material de la Ciencia”*).

unreliability are not”, advirtiéndonos de entrada de la complejidad de la cuestión a tratar, característica ésta que también es destacada por una de las colaboradoras, Kathryn OLESKO, al señalar que el concepto de precisión varía y se acomoda en función del “medio ambiente” en el que se practica a lo largo del siglo XIX: *“Precision measurement acquired culturally dependent sets of values over the course of the nineteenth century. In Germany , physics professors and secondary-school teachers used precision measurement to discipline laboratory training; here the work ethic associated with precision was used to justify the pedagogical worthwhileness of practical exercises”* (OLESKO, 1995, 126). Evidentemente la percepción que tiene esta autora de la praxis de la precisión, con toda seguridad como secuela de sus trabajos sobre historia de la educación científico-técnica, no es la única posible, como ella mismo manifiesta al reseñar un artículo de Graeme GOODAY (1990) en el que se postula que las ideas de precisión en la Inglaterra del último cuarto del siglo XIX se vinculaban a valores liberales relacionados con los hábitos de un pensamiento exacto y racional.

La presente comunicación pretende aportar información capaz de generar alguna interpretación que complemente la ya existentes y que facilite la caracterización de esa gradación que parece existir implícita en el mismo concepto de la precisión y que se traduce en una percepción diferencial que se manifiesta de forma nítida cuando una misma cuestión se puede plantear desde un punto de vista técnico o desde un punto de vista científico, tal y como ha apuntado muy adecuadamente BENSAUDE-VINCENT (2000, 156-157) en su estudio sobre el diseño y uso de Areómetros e Hidrómetros². Esta percepción diferencial -técnica y científica- de la precisión de un aparato de medida queda absolutamente nítida en la revisión que aquí se realiza de la polémica que en su día se suscitó en el seno de l’Académie des Sciences de Paris al presentarse el lactoscopio de Alfred DONNÉ, instrumento destinado a determinar el contenido en grasa de la leche mediante el estudio de la opacidad de una capa de leche de un determinado espesor. La época y los protagonistas son claves para captar la verdadera dimensión ya que estamos hablando de un momento en el que las ciencias no físicas, y en el caso que nos ocupa y de forma especial, la farmacia, están empezando a considerar la posibilidad de equipararse en rango científico con la física, a la par que discrepan de sus procedimientos, al pretender obtener rapidez, aún a costa de precisión, aunque en este caso en aras de un mayor beneficio en salud pública.

² Según Pierre Bories, el hidrómetro determinaba la densidad de un líquido manteniendo fijo el peso y variando el volumen, mientras que el areómetro mantenía fijo el volumen y variaba el peso. En el primer caso, el instrumento se hundía más o menos en el líquido cuya densidad se pretendía determinar y una escala, dibujada mediante calibrado previo, proporcionaba directamente la lectura de la medida. Con los areómetros se forzaba la inmersión hasta un determinado nivel deseado mediante la adición de pesas a un platillo situado en la parte superior del instrumento (BENSAUDE-VINCENT, 2000, p. 156-157).

Un problema de salud pública en la Francia de principios del siglo XIX: El análisis de la leche fresca destinada a consumo

Según nos advierte CHEVALLIER en su *Diccionario de las alteraciones y falsificaciones de las sustancias alimenticias medicamentosas y comerciales* (1854, vol I, p. 319-323) la adulteración de leche por adición de agua era una práctica habitual entre lecheros y comerciantes, lo que conllevaba un deterioro de “*los principios sápidos de la leche, y por consiguiente su calidad, aun mas que la sustraccion de la crema*”. Por otra parte, en Francia y en otros países, los farmacéuticos eran los responsables de velar por la salud pública, por lo que debían inspeccionar periódicamente, entre otras cosas, la calidad y naturaleza de los productos alimenticios que se ofrecían al consumidor en los mercados. En algunos casos esta vigilancia no era sencilla y los procesos de investigación requerían de complejos métodos de análisis químico. Concretamente el análisis químico de la leche requería de un tiempo del que no se disponía en el proceso habitual de consumo de este producto perecedero, ya que “*la leche antes de llegar al consumidor pasa por tres manos, á saber: 1.º. los dueños de las vacas. 2.º. Los comerciantes por mayor que la traen en posta á Paris: 3.º. los lecheros y demas que las venden por las calles*”, por lo que la leche que se ofrecía en el mercado no podía esperar mucho tiempo dado que su alteración natural era inmediata, e incluso se producía durante el mismo proceso del consumo.

No es de extrañar, pues, que los inspectores de mercados, en particular, y los farmacéuticos y médicos, en general, requirieran de los técnicos procesos e instrumentos de medida que garantizaran la calidad de la leche en un tiempo razonablemente corto.

A finales del siglo XVIII los densímetros de líquidos eran frecuentemente utilizados por los técnicos en vinos y alcoholes y, aunque estos instrumentos no estaban bien vistos por físicos ni por químicos dada su imprecisión, su uso era normalmente aceptado por los recaudadores de impuestos que basaban su liquidación en el porcentaje alcohólico del licor considerado.

El hecho de que Lavoisier, con ocasión de sus observaciones relativas al análisis de aguas minerales, fracasara en su intento de construir un aerómetro universal, no impidió que, a pesar de todas sus limitaciones -centradas por lo general en el empleo de tablas muy específicas en función de los objetivos a cubrir por cada aerómetro en particular-, el empleo de estos aparatos en el control de líquidos comerciales (vino, aguardiente, agua, aceites, etc.) se popularizara enormemente a lo largo de todo el siglo XIX, constituyendo una especie de “*revenge of particularism over universalism*”, según señala BENSUADE-VINCENT (2000, p. 177). La leche no fue una excepción a esta moda y varios fabricantes de aparatos

científicos empezaron en la década de 1840 a comercializar lactodensímetros³, popularizándose su empleo entre los inspectores de mercados: “*En Bruselas y Amberes los agentes de policia examinan por medio de lactómetros la naturaleza de la leche y hacen aprehenderla cuando tiene agua ó está alterada*” (CHEVALLIER, 1854, I, p. 328).

La medición de la densidad de la leche no era, sin embargo, y a pesar de sus defensores, un procedimiento de suficiente fiabilidad como para garantizar la calidad y la ausencia de adulteración de la leche de vaca destinada al consumo. La gran cantidad de variables que podían interferir en la medida, por vía de una adulteración de la leche (CHEVALLIER, 1854, I, p. 319-323), hacían que el procedimiento fuera práctico aunque no riguroso, por lo que no es de extrañar que se buscaran otros procedimientos de control igualmente rápidos, aunque más fiables. Es justamente en este escenario en el que cabe situar nuestro relato.

Un intento de estimar de forma rápida los fraudes en la leche: El lactoscopio de Donné

A principios de 1843 el médico francés Alfred Donné⁴ remitió a la *Académie des Sciences* de París una carta acompañada de doce ejemplares de un aparato fabricado, según sus indicaciones, por Jean Baptiste Soleil, uno de los mejores constructores franceses de aparatos de óptica del momento (PAYEN, 1986). Parte de esta carta fue reproducida en *Comptes Rendus* (DONNÉ, 1843) y constituye la primera descripción de un instrumento de medida fundamentado en un proceso que en los siguientes treinta años se haría muy popular en el mundo del comercio de la leche: el lactómetro o lactoscopio. En esta carta Donné proporciona algunos detalles sobre el aparato, a la espera de que se procediera a la lectura de una Memoria que sobre esta cuestión también había remitido a la *Académie des Sciences*:

³ Cabe pensar que el uso de los densímetros de líquidos en el mercado de la leche fue una costumbre que pasaría de los comerciantes de vinos a los comerciantes de leche al por mayor utilizando aparatos más o menos fiables en su graduación. El primer lactodensímetro que se puso en el mercado con una cierta garantía de fiabilidad, y sin duda el más popular, fue el de T. A. QUEVENE (1842), farmacéutico jefe del *Hôpital de la Charité* de París y secretario de la *Société de Pharmacie* de París, aunque también cabe citar algunas modificaciones de este diseño, lanzadas al mercado casi al mismo tiempo, tales como el lactómetro de COLLARDEDAU (s.d.) y el galactómetro centesimal de DINOCOURT (1846). [NOTA.-El denominado lactómetro de Dinocourt *no es un densímetro de líquidos*. Este instrumento, llamado también cremómetro, fue construido por Dinocourt a partir de una idea de Quevene y, con él, se medía el volumen de grasa sobrenadante de un volumen fijo de leche depositado en una probeta graduada y tras reposar 24 horas] (BAUDRIMONT, 1882, p. 742-747).

⁴ Alfred Donné (Noyon, 1801- París, 1878) fue jefe de clínica de l’*Hôpital de la Charité*, bibliotecario segundo de la facultad de Medicina y rector de las Academias de Estrasburgo y Montpellier. Fue uno de los primeros que realizó estudios de micrografía en Francia (ESPASA-CALPE, XVIII, 2ª, p. 1981).

“Le principe de cet instrument repose sur une propriété inhérente à la constitution même du lait. Le lait doit sa couleur blanche et mate aux globules de matière grasse ou butyreuse qu'il contient; plus ces globules sont nombreux plus le lait est opaque, et plus, en même temps, il est riche en partie grasse ou en crème. L'opacité du lait étant en rapport avec la proportion de son élément principal, la crème, la mesure de cette opacité, peut donc donner indirectement la mesure de la richesse de ce liquide.

Mais le degré d'opacité du lait ne peut être apprécié sur une masse de liquide; il ne peut se mesurer que sur des couches très-minces, et c'est ce qui a lieu avec l'instrument que je propose: il est combiné de telle sorte, que le lait peut y être examiné en couches de toute épaisseur, depuis la plus mince, à travers laquelle on distingue clairement tous les objets, jusqu'à celle qui ne laisse plus rien apercevoir; il donne la richesse du lait, en indiquant le degré d'opacité auquel répond l'indication de la proportion de crème.

Je renonce à donner ici de mon lactoscope une description détaillée qui serait difficilement suivie; il suffira de dire qu'il se compose essentiellement de deux glaces parallèles, qui se rapprochent l'une de l'autre jusqu'au contact, ou s'éloignent plus ou moins à volonté; le lait est introduit entre ces deux lames de verres, et la flamme d'une bougie sert de point de mire pour juger de l'opacité; le degré d'écartement de deux verres, ou, en d'autres termes, l'épaisseur de la couche de lait est indiquée par un cercle divisé, auquel répond un tableau marquant la proportion de crème pour chaque division.

On peut s'assurer de la sensibilité de l'instrument, en ajoutant une petite quantité d'eau ou d'eau de son au lait; il suffit d'un vingtième de cette eau pour changer le degré de transparence du lait.”

La Memoria que remitió Donné a la Académie⁵, fue extractada en un informe que realizó Pierre Séguier y que se presentó ante una comisión constituida, por Louis Jacques Thénard, Eugène Chevreul, Jean Boussingault, Henri Regnault y el propio Séguier. Dicho informe, que fue publicado ese mismo año en *Comptes Rendus* (SÉGUIER, 1843), recoge una descripción más detallada del aparato⁶ y del

⁵ En dicha Memoria se incluían, además de una descripción detallada del lactoscopio y de su uso y manejo, la descripción de un procedimiento práctico para reconocer la adulteración de leche con agua, una memoria relativa al efecto de las bajas temperaturas sobre la leche y la indicación de un montaje para almacenar leche a baja temperatura con la intención de conservarla o transportarla.

⁶ La primera representación gráfica del lactoscopio de Donné (figura 1) es recogida por Alphonse Chevallier en la lámina 8 de su *Dictionnaire des altérations et falsifications des substances alimentaires* publicado en 1852 en París y traducido al castellano en 1854 (Vol I) y 1855 (vol II) por Ramón Ruiz Gómez, donde se ofrece igualmente una descripción del funcionamiento del utensilio (I, p. 324). También BAUDRIMONT (1882, p. 742) en su

proceso de medida, destacando en qué condiciones se puede considerar exacta una medida (SÉGUIER, 1843, p. 586).

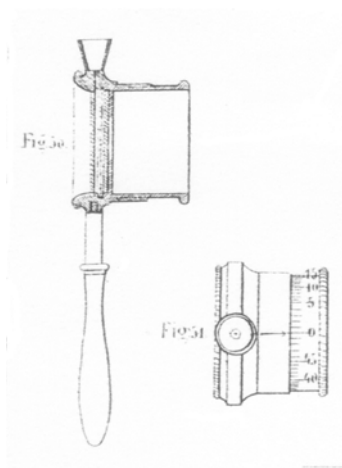


Figura 1: Lactoscopio de Donné
[CHEVALLIER, 1854,II, plancha 8]

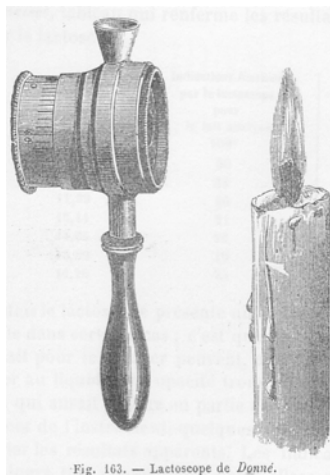


Figura 2: Lactoscopio de Donné
[BAUDRIMONT, 1882, p. 742]

La precisión de las medidas que proporciona el lactoscopio es una de las cuestiones tratadas con más profundidad en la reseña de Séguier, quien empieza por afirmar que el lactoscopio no permite diferenciar entre una leche natural pobre en crema y una leche adulterada por adición de agua (SÉGUIER, 1843, p. 587). Realizada esta observación, se detiene en destacar que el proceso de medida puede verse afectado por un error como consecuencia de una deficiente iluminación ambiental, cifrando este posible error en un valor máximo cercano al 10% —una variación de 3 centésimas de milímetro sobre un valor inicial de 30 centésimas de milímetro— (SÉGUIER, 1843, p. 586-587). Finalmente, verifica si los diferentes aparatos remitidos por Donné presentan discrepancias en su funcionamiento, concluyendo negativamente (SÉGUIER, 1843, p. 586).

Una vez analizadas las posibles causas de error pasa a considerar la cuestión central del problema: ¿existía o no una correlación entre la riqueza en grasa de la leche considerada y la medida proporcionada por el aparato?. Para responder a este interrogante los comisarios realizaron dos series de experiencias; una basada en un proceso de dilución medido en volumen, cuyos resultados no permitían establecer ninguna hipótesis sobre el supuesto considerado (SÉGUIER, 1843, p. 587), y otra basada en una dilución medida en masa, cuyos resultados fueron más esperanzadores y permitieron a Séguier plantear la posibilidad de existencia de la

versión ampliada de la obra de CHEVALLIER, recoge una representación gráfica de este utensilio (figura 2).

correlación buscada, correlación que el inventor del aparato no menciona en su Memoria, según destaca el propio Séguier (SÉGUIER, 1843, p. 587-588):

“Existe-t-il une, proportionnalité entre l'opacité indiquée par le lactoscope et la richesse du lait en matière butyreuse?. L' auteur du Mémoire ne l'a point annoncé.”

<i>Residuo seco por 100 de leche</i>	<i>Indicaciones del lactóscopo respecto á la leche analizada</i>
10,52	109
10,96	36
11,65	38
11,89	40
13,14	21
13,65	23
13,89	19
14,26	25
16,66	11
17,17	15
19,20	10
10,88	94— <i>Estos cinco números</i>
10,96	56— <i>se deben a otro</i>
12,13	25— <i>observador</i>
13,72	20— <i>que tenia</i>
20,00	10— <i>diferente vista</i>

Tabla I.- Equivalencias establecidas por Reiset entre contenido en residuo seco de una leche y lectura proporcionada por dicha leche en el lactoscopio de Donné [CHEVALLIER, 1854, I, p. 325]

Esta probable correlación, sugiere, a juicio de Séguier, la posibilidad de emplear este instrumento como aparato de medida del contenido exacto en grasa de la leche estudiada. En este sentido, describe las experiencias que los comisarios realizaron al efecto centradas en la medida de la diafanidad de una determinada leche y en la determinación posterior, por análisis químico, de su contenido en materia grasa, si bien las escasas experiencias realizadas no permitieron extraer conclusiones definitivas, por lo que Séguier concluye en la necesidad de una investigación más amplia en ese sentido (SÉGUIER, 1843, p. 588):

“Ces rapports, qui ne s'éloignent pas beaucoup de la proportionnalité, font désirer que des expériences soient entreprises dans cette direction.”

Esta proporcionalidad nunca fue cuantificada, si bien la praxis en el uso del instrumento proporcionó a los farmacéuticos tablas de equivalencias

extremadamente útiles para establecer *aproximadamente* la riqueza en grasa de una determinada leche, y, por lo tanto, la posible existencia, o no, de fraude por dilución con agua⁷. Quizás la tabla más completa se deba a los trabajos del químico y agrónomo Jules Reiset, quien, realizó una serie de estudios comparando los residuos secos, determinados por análisis químico, de cada leche estudiada y las lecturas obtenidas por el lactoscopio. Sus resultados, reproducidos por Chevallier en su *Dictionnaire* (1854, I, p. 325), se muestran en la Tabla I.

Críticas de François Arago al lactoscopio de Donné y defensa de la utilidad del lactoscopio

La reseña que realizó Pierre Séguier sobre la Memoria de Donné recoge también las furibundas objeciones que el secretario perpetuo de la Académie, François Arago, realizó tanto al aparato como al procedimiento de medida.

En relación con el aparato, Arago acusó directamente a Donné de haber plagiado su instrumento de otro diseñado por el geógrafo Charles Dien⁸ (SÉGUIER, 1843, p. 594):

“Le mode d'observation présenté par M. Donné ne lui appartient pas. Il l'a emprunté à M. Dien, sans le citer. Cet habile géographe a déposé depuis longtemps dans mes mains l'instrument que je mets sous les yeux de l'Académie. M. Dien affirme que M. Donné l'a vu chez lui et en a fait usage.

L'instrument de M. Dien, comme celui de M. Donné, consiste essentiellement en un tube rempli de liquide, et de longueur variable à volonté. Mais les moyens de juger des changements de longueur sont beaucoup plus précis et plus ingénieux dans l'appareil du géographe que dans celui du médecin. M. Donné a emprunté, mais il n'a pas perfectionné.”

Por lo que respecta al proceso de medida, puso en duda tanto su fundamento científico (SÉGUIER, 1843, p.594):

L'instrument soumis à l'appréciation de l'Académie n'est pas évidemment un lactoscope; est-il du moins un bon diaphanomètre?.

⁷ Chevallier recoge en su *Dictionnaire* (1854, I, p. 324) una tabla simple de correspondencias entre lecturas del lactoscopio y contenido en grasa.

⁸ Charles Dien (Paris, 1809-1870). Geógrafo y fabricante de material didáctico destinado a la enseñanza de la Geografía. Diseñó una gran variedad de globos terráqueos y de mapas astronómicos, publicando diversas obras sobre la bóveda celeste. Su obra más conocida es, quizás, el *Atlas céleste*, publicado en Paris en 1855 y completado por Camile Flammarion en 1887 (ESPASA-CALPE, XVII, 1ª, p. 998).

On n'a qu'à jeter un coup d'oeil sur l'ouvrage capital du créateur de la photométrie, sur l'Optique de Bouguer, et l'on verra si cet observateur illustre hésitait à condamner les photomètres par extinction. Quand Bouguer veut déterminer la diaphnéiaté de l'eau de mer, par exemple, il cherche l'épaisseur de ce liquide qui réduit au tiers ou au quart la lumière incidente, et non pas l'épaisseur qui étoufferait cette lumière entièrement. La première observation est indépendante de l'intensité de la lumière employée et de la sensibilité de l'oeil de l'expérimentateur; elle n'exige, comme tous les physiciens le savent, qu'un jugement à porter sur l'égalité de deux images que l'oeil aperçoit simultanément. Le résultat de la seconde méthode varie avec l'intensité de la lumière employée, avec la fatigue et la délicatesse des organes de la vision."

como la precisión de las medidas obtenidas por causa de la fuente de iluminación empleada (SÉGUIER, 1843, p. 594-595):

"M. Donné se sert, comme point de mire, de la flamme d'une chandelle.

Il ignorait donc qu'une chandelle plus ou moins bien mouchée donne une flamme dont l'intensité varie, comme Rumford l'a prouvé, dans le rapport de 100 à 16. Une bougie varie moins. Le changement va de 100 à 60. Irait-on jusqu'à prétendre qu'une lumière forte et une lumière faible cessent d'être visibles au même moment?. On ne conserverait pas longtemps une semblable opinion. Il suffirait de considérer que le corps de la chandelle disparaît beaucoup plus tôt que la flamme, et le bas de la flamme sensiblement plus tôt que son milieu.

Finalmente llegó a rechazar las aportaciones de Donné al campo de la micrografía de la leche, dudando de sus aptitudes técnicas para el diseño de un aparato de observación fundamentado en procesos ópticos (SÉGUIER, 1843, p. 593 y 595):

"Il faut, d'abord, bien s'entendre, a dit M. Arago, sur le but de l'instrument proposé. Le but est la mesure de la diaphanéité du lait, à l'aide d'une expérience d'optique. Cette expérience, en la supposant exacte, dira jusqu'à quel degré le lait manque de transparence, mais elle n'apprendra rien, absolument rien sur la nature de la substance, naturelle ou artificielle, tenue en suspension et qui produira une opacité partielle plus ou moins prononcée. Dans le lait naturel, l'opacité provient, en majeure partie, de globules blanchâtres de diverses grosseurs flottant dans un liquide. Je viens d'entendre, avec beaucoup d'étonnement, attribuer la découverte de cette composition du lait, à M. Donné. Sans avoir eu l'occasion de recourir aux auteurs originaux, j'affirme que l'existence dans le lait, de globules de différentes grosseurs, de globules qui sont la cause de la blancheur du liquide, est déjà mentionnée dans Leewenhoeck. Je me rappelle

parfaitement que la découverte est citée dans l'Histoire de la Société royale de Londres, par Birch.

...

Quant à l'instrument de M. Dien, reproduit par M. Donné, il exige une foule d'attentions délicates, minutieuses, dont ce médecin ne semble pas être douté."

En defensa del procedimiento de Donné intervinieron, entre otros, Regnault y el fisiólogo Jean Pierre Flourens, aunque la defensa más encendida la realizó el también fisiólogo François Magendie, cuya intervención se fundamentó en la utilidad que para la salud pública tenía el método propuesto (SÉGUIER, 1843, p. 597):

*"Je ne veux pas, dit-il, intervenir, dans la discussion physique soulevée à l'occasion du Rapport; elle me paraît d'ailleurs épuisée, la Commission ne contestant aucune des objections qui viennent d'être faites et convenant, au contraire, que l'instrument proposé **n'est pas un instrument de précision**; mais elle soutient que cet instrument peut rendre service entre les mains des personnes qui ont intérêt à connaître les qualités du lait.*

*C'est sous ce dernier point de vue que je voulais dire quelques mots, en faisant remarquer à l'Académie que sa décision aura de graves conséquences. La consommation du lait est générale, et par conséquent d'une haute importance, surtout dans les grandes villes. Les hôpitaux de Paris en consomment tous les jours une énorme quantité. L'Administration fait tous ses efforts pour que le lait distribué aux pauvres malades soit de bonne qualité, et ses marchés sont faits de telle sorte que les adjudicataires s'engagent à fournir **du lait pur**. Les médecins et pharmaciens sont chargés de surveiller journellement la livraison du lait et de constater sa pureté avant de l'admettre à la distribution. Or, je dois dire que nous sommes souvent très embarrassés de décider si un lait est pur ou ne l'est pas. Les aéromètres, les galactomètres sont loin de nous satisfaire toujours à cet égard. Ce serait donc un hereux événement pour nous et pour toutes les personnes qui sont appelées à juger de la pureté du lait, y compris les innombrables consommateurs, que la découverte d'un moyen simple, d'un facile emploi, qui donnerait ce résultat. Aussi je n'hésite pas à demander à MM. les membres de la Commission, et particulièrement à notre honorable confrère M. Boussingault qui est producteur du lait, et qui, comme savant chimiste, connaît mieux que personne la composition de ce liquide et les diverses altérations naturelles ou frauduleuses dont il est susceptible, et je demanderai, dis-je, à notre confrère s'il se servira, dans ses laiteries, de l'instrument proposé; et s'il croit que cet instrument sera utile dans l'appréciation que les médecins et pharmaciens des hôpitaux sont obligés de faire tous les jours ds bonnes ou mauvaises qualités du lait.*

Si l'instrument a cet avantage, dès demain je l'adopte et je rend grâce à l'auteur: Mais il faut qu'on le dis nettement, hautement. Si l'instrument n'atteint pas ce but, il faut également qu'on le dise hautement et clairement; la moindre obscurité, la moindre réticence compromettraient les graves intérêts que j'ai signalés”.

Finalmente el químico Eugène Chevreul acabó de completar de la defensa de Donné desestimando las argumentaciones de Aragó centradas en la poca exactitud del método (SÉGUIER, 1843, p. 598):

“1° Les différentes expériences qu'il a faites au cabinet de physique du Collège de France, avec MM. Regnault et Séguier, ont eu entre elles toute la concordance désirable en pareille matière.

*2° Sachant, d'après ses nombreuses recherches sur le lait, et sur le beurre, combien il est difficile aujourd'hui de connaître avec **précision**, par l'analyse chimique, la composition immédiate de différents échantillons de lait et de beurre, et cependant admettant l'utilité d'apprécier aussi approximativement que possible, par des **moyens faciles et surtout rapides**, la proportion de la **partie grasse** du lait, il n'a pas hésité à se joindre à ses collègues pour proposer à l'Académie de remercier M Donné d'avoir présenté un instrument à l'aide duquel on reconnaît plus exactement qu'on ne peut le faire en recourant à l'aréomètre ou à la séparation de la crème dans des tubes gradués.*

En définitive, ce n'est donc pas parce que M. Chevreul a comparé l'instrument de M. Donné à un instrument qui serait d'une précision absolue, qu'il adhère à la conclusion du Rapport, mais c'est à cause de la conviction qu'il a que l'emploi du moyen proposé par M. Donné est préférable à ceux dont on fait usage aujourd'hui.”

Valoración de los resultados obtenidos con el lactoscopio de Donné

Las razones por las que Donné llega a presentar su procedimiento de análisis de la leche, aún sin ser obvias, son perfectamente interpretables desde el marco tecnológico-cultural imperante en la época.

Los trabajos de BOUGUER (1729) y de LAMBERT (1760) estimularon, sin duda alguna, el interés de Horace Benoît de SAUSSURE por la posibilidad de medir la "transparencia" del aire. Fruto de dicho interés fue el diseño, hacia 1785, del diafanómetro, y la introducción del concepto de diafanidad del aire. Por otra parte, técnicos industriales franceses, con una sólida base química, se interesaron a partir de 1825 en la posibilidad de relacionar la concentración de sustancia disuelta en agua con la intensidad de color transmitida, apareciendo los primeros procedimientos y utensilios colorimétricos (GARRIGÓS OLTRA, et al 1998, 1999a, 1999b, 2000, 2001a, 2001b, 2002). El aparente éxito del colorímetro de Labillardière y del decolorímetro de Payen, utensilios que relacionaban camino

óptico y concentración en el análisis de productos comerciales, estimularon la imaginación de los técnicos encargados de la vigilancia y control de los fraudes en las materias alimentarias, función que recaía en los farmacéuticos, aunque con una conexión muy directa con los médicos; no es pues extraño que alguien perteneciente a este sector profesional se lanzara a la aventura de intentar simplificar los procedimientos de análisis de una de las sustancias alimenticias que con más frecuencia sufría los efectos de las adulteraciones: la leche.

La idea central de Donné al diseñar su lactoscopio era paralela a la que animó a Payen a diseñar su decolorímetro⁹: la concentración de grasa en leche se podría estimar determinando el espesor de una capa láctea para el cual no fuera visible, a su través, una determinada señal luminosa situada a una distancia fija del punto de observación.

Cierto es que el diseño no comportaba, ni en uno ni en otro caso, base teórica alguna; se trataba simplemente de estructurar lo que la práctica y la lógica imperante en la época apuntaban como razonablemente válido: el incremento de sustancia disuelta en una capa líquida amortiguaba la intensidad de la luz incidente, de manera que la luz emergente o era de intensidad menor o, simplemente, no emergía.

Las experiencias colorimétricas que se estaban desarrollando en aquellos momentos tanto en el ámbito industrial como en el del análisis químico sugerían que una igualdad de “matiz” o de “color” implicaba una relación del tipo:

$$K = cx, \text{ o bien } c = K/x \quad [3]^{10}$$

⁹Arago pensaba que la realidad no era esa, como destaca Séguier en su extracto (SÉGUIER, 1843, p. 595):

“Le vrai diaphanomètre exige seulement que l'on juge de l'égalité de deux lumières; or tout le monde est à peu près également apte à prononcer sur cette égalité. Nous l'avons éprouvé soit en faisant, jadis, de nombreuses recherches sur les lampes de nos phares, soit en essayant naguère les pouvoirs éclairants de diverses natures de gaz; les hommes de service jugeaient tout aussi bien que nous. Je citerai une autre expérience également démonstrative, faite journellement, depuis 1825, dans un grand nombre d'ateliers, avec le décolorimètre de notre confrère M. Payen. Dans cet utile instrument, le point d'arrêt est celui de la similitude des deux teintes engendrés par la transmission de la lumière à travers deux liquides renfermés dans deux tubes contigus et de longueurs inégales. Cette phase de l'observation n'a jamais offert de difficulté. Le décolorimètre, pour le dire en passant, est, à quelques particularités près, la forme qu'il faudrait donner au diaphanomètre lactoscope, si la diaphanéité pouvait devenir la mesure de la qualité du lait.”

¹⁰ Relaciones de este tipo serían posteriormente consideradas en los trabajos de BERNARD (1853) y BEER (1853) al objeto de justificar los resultados experimentales obtenidos al atravesar un haz luminoso una solución transparente y coloreada.

Es decir, el producto de la concentración de la sustancia disuelta por el camino óptico recorrido por la radiación era constante. Pasar de esta argumentación a otra en la que se sustituía la igualdad en la coloración de dos muestras, una patrón y otra problema, por la igualdad en la desaparición de señal luminosa (igualación en opacidad) debió ser un proceso rápido, a pesar de las reticencias de Aragó sobre este particular (“*On n'a qu'à jeter un coup d'oeil sur l'ouvrage capital du créateur de la photométrie, sur l'Optique de Bouguer, et l'on verra si cet observateur illustre hésitait à condamner les photomètres par extinction.*”).

Ciertamente Donné no llegó a postular esta proporcionalidad aunque ya se encargó el comisario Séguier de insinuarla, como ya se ha señalado previamente. Por otra parte, un ajuste por mínimos cuadrados, utilizando los datos de Reiset, de una función del tipo [3], donde c representa el extracto seco de una leche y x la lectura proporcionada por dicha leche en el lactoscopio, muestra un coeficiente de correlación de 0.962, insinuándose una relación experimental del tipo:

$$c = \frac{K}{x} + b \quad [4]$$

donde $b = 9,21$ y $K = 97,91$, siendo reproducible teóricamente la concentración en residuo seco de una leche con un error inferior al 10%.

Los resultados obtenidos con el lactoscopio de Donné, aunque pobres en principio, animaron a otros técnicos a proseguir en esta dirección. Tal es el caso del alemán Alfred Vogel¹¹, quien en 1862 presentó un nuevo lactoscopio (figura 3¹², STOHMANN, III, p. 216-217). El aparato de Vogel consistía en un recipiente con dos placas separadas exactamente 5 mm, el cual encajaba en un soporte con las paredes ennegrecidas. En un frasco graduado se introducían 100 cm³ de agua, a los cuales se añadían, con una pipeta, 3 cm³ de leche.

¹¹ Alfred Vogel (München, 1829-München,1890) Hijo de Heidrich Vogel y hermano de August Vogel, químicos. Estudió medicina y se dedicó a la pediatría. En 1852 entró como ayudante de Karl von Pfeufer en München . En 1855 fue habilitado para el ejercicio de la enseñanza de la medicina y hasta 1865 fue profesor de patología. En 1866 se trasladó a Rusia donde fue nombrado asesor del Consejo del Zar y jefe de medicina clínica en Dorpat. En 1886 regresó a München donde trabajó hasta su muerte como profesor honorario y catedrático de pediatría. En 1860 publicó *Lehrbuch der Kinderkrankheiten*, obra que fue posteriormente actualizada por Philipp Biedert. (KILLY, VIERHAUS, 1999, 10, p. 224).

¹² El lactoscopio de Vogel fue realizado por un constructor de aparatos denominado Greiner, cuyo taller estaba en Munich (VOGEL 1863a, p. 63).

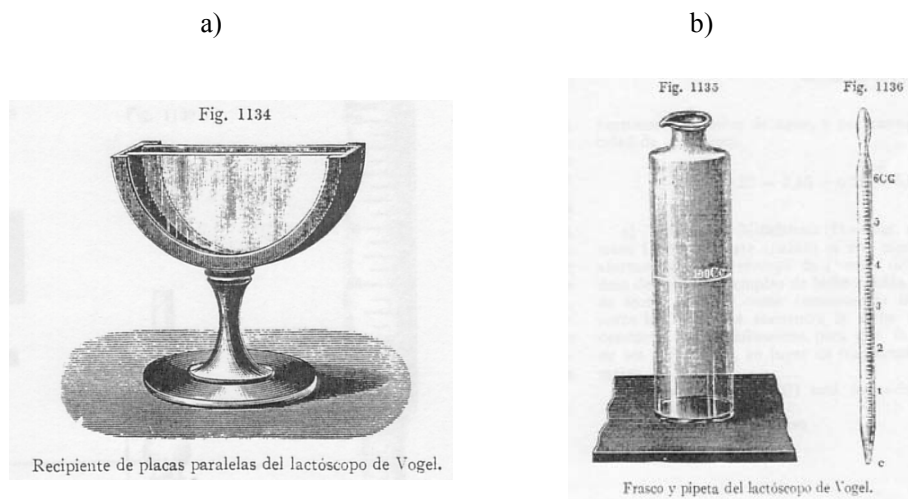


Figura 3: Lactoscopio de Vogel: a) Recipiente de observación; b) Frasco y pipeta para preparar la disolución agua-leche a observar [STOHMAN, et al., c. 1930, III, p. 216-217]

Esta disolución era observada en el lactoscopio. Si la luz de una llama atravesaba los 5 mm de espesor de la disolución láctea, se confeccionaba una nueva disolución que contenía 100 cm^3 de agua y 3 cm^3 , más, de leche, y se repetía la observación. Una vez que se detectaba que una determinada disolución de agua y leche impedía el paso de la luz a su través, se repetía el proceso partiendo de una disolución próxima a ésta que se consideraba opaca; aunque en esta segunda tentativa se iban añadiendo, sucesivamente, fracciones de $0,1 \text{ cm}^3$ de leche. Este proceso eliminaba, sin duda, la posibilidad de error mecánico implícito en el lactoscopio de Donné y derivada de la aproximación, mediante un tornillo micrométrico de las dos placas de vidrio, aunque introducía la posibilidad de error por dilución y arrastre de líquido.

Este lactoscopio se presentó inicialmente mediante un folleto de la empresa Enke de Erlangen. Posteriormente se dieron reseñas del mismo en *el Dingler's Polytechnische Journal* (1863, 167, p. 62-63) y en *el Zeitschrift für Analytische Chemie* (1863, 2, p. 103-106). En esta última reseña se aportan, tabulados, algunos de los resultados de Vogel, proporcionándose el volumen de leche, con agua añadida en diferentes proporciones, necesario para lograr la opacidad de una capa de 5 mm de espesor de una disolución de agua y leche-adulterada, a su vez, con agua en diferentes proporciones- y la proporción de agua añadida a la leche considerada, en cada caso. Los datos aportados por Vogel para tres series de medidas, de tres leches diferentes, permiten un ajuste por regresión a una función del tipo [3], donde c representa la concentración relativa en grasa de la leche utilizada como agente opacante, y x el volumen añadido de dicho agente opacante -leche adulterada, o no-, con un nivel de correlación similar al obtenido en el ajuste

de los datos de la serie de Reiset para el lactoscopio de Donné, sugiriéndose, también, una ecuación del tipo [4] donde los valores de b y de K oscilan entre 0,34 y 0,48; y entre 2,82 y 4,11, respectivamente, lográndose unos coeficientes de correlación situados entre 0,970 y 0,983. La reproducibilidad de las medidas se logra en cualquier caso con un error inferior al 10 %.

Es interesante destacar que en las dos reseñas publicadas en la prensa científica relativas al lactoscopio de Vogel se destaca el manejo que realizó el astrónomo von Seidel¹³ de los datos obtenidos mediante dicho lactoscopio, correlacionándolos con el porcentaje en materia grasa de cada muestra de agente opacante, determinado mediante análisis químico. Seidel propuso una ecuación del tipo [4], obtenida por “*métodos estadísticos*” (cabe imaginar que se trataba de un simple ajuste por mínimos cuadrados, ya que no disponemos de los datos con los que trabajó) con los siguientes parámetros:

$$y = (23.2/x) + 0.23 \quad [5]$$

donde x es el volumen de leche a estudiar, y añadido como agente opacante a 100 cc de agua, e y es el porcentaje en materia grasa de dicha leche.

Esta ecuación fue empleada por el fabricante del lactoscopio de Vogel para recalcular una tabla teórica de equivalencias entre medida proporcionada por el utensilio y porcentaje de grasa de la leche estudiada; ya que debía presuponerse que, entre la población encargada de controlar de una u otra forma la calidad de la leche -granjeros, comerciantes al mayor, lecheros, inspectores de mercados y, por último, farmacéuticos y médicos-, el empleo de una tabla de equivalencias resultaría muchísimo más eficaz que el empleo de una ecuación matemática.

El uso de los lactoscopios tuvo a partir de 1870 una suerte muy distinta según el país que se considere; así BAUDRIMONT en su *Dictionnaire* (1882, 743), afirma:

“Mais le lactoscope présente un inconvénient qui en rend l'utilité assez contestable dans certains cas; c'est que presque tous les corps que l'on introduit dans le lait pour le falsifier peuvent, aussi bien que les matières grasses, communiquer au liquide une opacité trompeuse et faire passer pour riche en beurre un lait qui aurait pu être en partie écrémé. De plus, l'humidité de l'haleine sur les glaces de l'instrument, quelques bulles d'air au sein du liquide, peuvent faire varier les résultats apparents. Les

¹³ Philipp Ludwig von Seidel (Zweibrücken, 1821- Munich, 1896) se interesó sobre las fracciones continuas y series, y su aplicación para describir el proceso de dispersión luminosa en diversos medios y la trayectoria de un rayo luminoso que penetra por una serie de lentes rotas (ESPASA-CALPE, LIV, 1564).

indications du lactoscope ne sont donc pas toujours très comparables entre elles; aussi cet instrument est-il à peu près abandonné aujourd'hui”.

Según han señalado recientemente MILLÁN VERDÚ, *et al*, (2003), esta consideración de BAUDRIMONT tiene difícil aplicación en Alemania, donde entre 1871 y 1878 se presentan tres nuevos modelos de lactoscopios (RHEINECK, 1871 y 1872; HEUSNER, 1877 y 1878; FESER, 1878) y donde en 1880 se comercializa el lactoscopio de los hermanos MITTELSTRASS, utensilio bastante más evolucionado en su diseño y con una mayor utilidad en sus aplicaciones.

Por otra parte, no podemos olvidar que hacia finales de siglo empieza a hacer su aparición en el mercado una familia de instrumentos estrechamente vinculados a los lactoscopios, aunque con finalidades analíticas diferentes: los nefelómetros¹⁴, cuyos primeros representantes son, sin duda alguna, el aparato para el estudio de los precipitados de AGLOT (1893) (DENIGES, 1907,351), con un diseño muy similar al del lactoscopio de los Mittelstrass, y el nefelómetro de 1894 de T.W. Richards (YOE, 1928-1929, II, 3), con un diseño más orientado hacia los colorímetros de balance tipo Duboscq (GARRIGÓS OLTRA, MILLÁN VERDÚ, BLANES NADAL, 2002).

Conclusiones

Tras la exposición realizada podemos concretar las siguientes conclusiones básicas:

1) La aparición del lactoscopio de Donné como instrumento de análisis de la leche por un procedimiento óptico es perfectamente comprensible en la época en que se produce el hecho debido a las siguientes razones:

- a) la cultura científico-técnica imperante en la sociedad francesa de la época, aún sin estar claras las bases teóricas que sustentaban el fundamento del aparato, permitía el diseño de un utensilio de las características del lactoscopio.
- b) la necesidad de disponer de un utensilio similar a los densímetros, aunque más fiables que ellos en el control de las adulteraciones por agua de la leche, destinado a un público sin una gran formación científico-técnica, aconsejaba el diseño de un aparato como el lactoscopio.
- c) el nivel de exactitud alcanzado en el control del consumo ordinario de leche, al ser mayor que el alcanzado por los densímetros, reforzaba el

¹⁴ En 1876, T.P. Blunt sugirió que el estudio de la turbidez podría ser llamado nefelometría, augurando para este procedimiento de análisis un amplio desarrollo en un futuro inmediato (YOE, 1928-1929, II, p. 3).

papel de los responsables de la salud pública en las funciones de vigilancia.

2) Se constata la existencia, en la Francia del siglo XIX, de dos culturas de la precisión: por una parte la científica, defendida por el mundo académico más ortodoxo y representada por personajes vinculados al ejercicio de la Física¹⁵; mientras que por otra emerge cada vez con mas fuerza la cultura técnica de la precisión, que empieza a transferirse desde el mundo de la industria al mundo de la salud pública¹⁶.

Esta situación es más acusada en Alemania, donde la cultura científica “impone” la obtención de una ecuación empírica capaz de “traducir” las medidas del lactoscopio de Vogel en medidas directas del porcentaje en materia grasa de una leche, mientras que la cultura práctica obliga a “transcribir” los resultados predichos por esta ecuación en una tabla de valores capaz de ser utilizada sin cálculo alguno por los personajes implicados en el comercio de la leche.

3) Aunque existe una discrepancia notable entre el comportamiento experimental de una suspensión láctea y el de una solución coloreada, pero transparente, frente a un haz luminoso que las atraviesa, la evolución en el diseño de colorímetros influyó notablemente en el diseño de los lactoscopios y diafanómetros que aparecieron en el siglo XIX (véase la nota 9 a pie de página), hallándose notables concordancias entre los prototipos de finales de siglo de unos uno y otro tipo de aparatos; por lo que podríamos estar frente a un nuevo caso de lo que Norton Wise califica como “*mediating machines*”, es decir, instrumentos de medida que relacionan diversas áreas del conocimiento científico-técnico actuando como en unas áreas introductoras de los fundamentos científicos que han propiciado avances técnicos capaces de aportar resultados positivos en otras.

¹⁵ “*Les Commissaires admettent la justesse de mes critiques; seulement ils prétendent qu'elles ne sont pas applicables dans la circonstance actuelle, attendu qu'il s'agit d'un appareil industriel et non d'un instrument de précision. Le diaphanomètre construit sur les vrais principes de la photométrie ne saurait être employé, dit-on, que par des physiciens expérimentés; le diaphanomètre par extinction serait, au contraire, à la portée de toutes les intelligences.*” (Intervención de Arago (SÉGUIER, 1843, p. 595)).

¹⁶ “*2° Sachant, d'après ses nombreuses recherches sur le lait, et sur le beurre, combien il est difficile aujourd'hui de connaître avec **précision**, par l'analyse chimique, la composition immédiate de différents échantillons de lait et de beurre, et cependant admettant l'utilité d'apprécier aussi approximativement que possible, par des **moyens faciles et surtout rapides**, la proportion de la **partie grasse** du lait, il n'a pas hésité à se joindre à ses collègues pour proposer à l'Académie de remercier M Donné d'avoir présenté un instrument à l'aide duquel on reconnaît plus exactement qu'on ne peut le faire en recourant à l'aréomètre ou à la séparation de la crème dans des tubes gradués.*” (Intervención de Chevreul (SÉGUIER, 1843, p. 598)).

Bibliografía

- AGLOT, E. (1893) "Sur un appareil de dosage des précipités par une méthode optique". *Comptes Rendus*, 116, 200-202.
- BAUDRIMONT, Er. (1882) *Dictionnaire des altérations et falsifications des substances alimentaires, médicamenteuses et commerciales*, 6^{ème} ed. Paris. Asselin et Houzeau.
- BEER, A (1852) "Bestimmung der Absorption des roten Lichts in färbigen Flüssigkeiten". *Ann. Physik Chem.*, 86 (2), 78-90.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (2000) "The Chemist's Balance for Fluids: Hydrometers and their Multiple Identities: 1770-1810" en: HOLMES, F.L.; LEVERE, T.H. (Ed.) (2000) *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, The MIT Press, Massachussets, 153-183.
- BERNARD, F. (1852) "Thèse sur l'absorption de la lumière par les milieux non cristallises". *Ann. Chim. et Phys.*, 35 (3), 385-438.
- BOUGUER, P. (1729) *Essai d'optique sur la gradation de la lumière*. Chez Claude Jombert. Paris, Livre III. Recherches sur la transparence et l'opacité des corps, 229-368.
- CHEVALLIER, A. (1854-55) *Dictionnaire des altérations et falsifications des substances alimentaires*. Trad. de Ramón Ruiz Gómez, 2 vol. Madrid, Imp. Manuel Alvarez.
- COLLARDEAU, F. (s.d.) *Instruction sur un nouveau Lactomètre et sur ses applications aux essais de mélanges des liquides. [La instruction se trouve avec le lactomètre à Paris chez l'auteur Collardeau, fabricant d'alcoomètres, baromètres, thermomètres, etc. 56, Faubourg Saint Martin]*, Paris, Imp. E.J. Bailly.
- DENIGES, G. (1907) *Précis de Chimie Analytique*, 3^{ème} ed. Paris. A. Maloine.
- DINOCOURT, H. (1846) *Instruction pour l'usage du galactomètre centésimal et du lactomètre. Instruments propres à faire reconnaître la pureté du lait des vaches. Revue et corrigée par MM. A. Chevallier et O. Henry, chimistes. [Cette instruction, ainsi que le Galactomètre centésimal et le lactomètre se trouvent chez H. Dinocourt, constructeur d'instruments de physique et de chimie en verre, 9, quai Saint Michel à Paris]*, Paris, Imp. Alexandre Bailly.
- DONNÉ, A. (1843) "Nouvel instrument destiné à indiquer la richesse en crème du lait". *Comptes Rendus*, 16, 451-452.
- ESPASA-CALPE, S.A. (1908-1933) "Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana". Madrid, 70 volúmenes + 10 apéndices.
- GARRIGÓS OLTRA, LI.; BLANES NADAL, G.; GILABERT PEREZ, E. (1998) "Nuevas aportaciones a la historia de la colorimetría: el procedimiento de análisis de los índigos de Houton-Labillardière". *Rev. Química Textil*, 139, 58-74.
- GARRIGÓS OLTRA, LI.; MILLÁN VERDU, C., BLANES NADAL, G. (1999) "Precursores de la colorimetría: los intentos de cuantificar el poder decolorante del carbón". *Rev. Química Textil*, 145, 18-31.

- _____ (2000) "Algunes precissions sobre l'origen i evolució del colorímetre. El procediment d'anàlisi de l'indi d'Houtou de Labillardière"; en: BATLLÓ ORTIZ, J.; DE LA FUENTE CULLELL, P. PUIG AGUILAR, R.(coord) (2000) *Actes de V Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica de la SCHCT*, Barcelona, 181-190.
- _____ (2001a) "Paleoprocimientos de la técnica colorimétrica: Los clorómetros"; en: ALVÁREZ LIRES, M.; COMESAÑA LOSADA, M.(coord) (2001) *Actas del VII Congreso de la Sociedad Española de Historia de la Ciencia y de las Técnicas*. Pontevedra, vol. II, 1051-1061.
- _____ (2001b) "The Contributions of Payen and Labillardière to the Development of Colorimetry". *Bulletin for the History of Chemistry*, 26(1), 57-65.
- _____ (2002) "Hacia una clasificación del utillaje colorimétrico del siglo XIX: Colorímetros de Balance". En este volumen.
- GARRIGÓS OLTRA, LI.; MILLÁN VERDU, C., BLANES NADAL, G.; GILABERT PEREZ, E. (1999) "Paleoprocimientos de la técnica colorimétrica: El decolorímetro de Payen". *Actas del V congreso Nacional del color*. Dep. Optica y Optometría, UPC. Terrasa, 231-232.
- GOODAY, G. (1990) "Precision Measurement and the Genesis of Physics Teaching Laboratories in Victorian Britain". *British Journal for the History of Science*, 23, 25-51.
- FESER, J. (1878) "Zur Milchuntersuchung". *Dingler's Polyt. Journal*, 230, 80.
- HEUSNER, ?. (1877) "Lactoskop von Dr. Heusner in Barmen". *Dingler's Polyt. Journal*, 225, 283-284.
- _____ (1878) "Lactoskop". *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 17, 240-241.
- HOLMES, F.L.; LEVERE, T.H. (Ed.) (2000) *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, The MIT Press, Massachussets.
- KILLY, W.; VIERHAUS, R. (1999) *Deutsche Biographische Enzyklopädie*, K.G.Saur, Munchen, 10 vol + 2vol ind. Onom.+ 2 vol ind. Top.
- LAMBERT, J.H. (1760) *Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum, et umbrae*. Vda. Eberhardi Klett. Augsburg. Traducción al alemán de Anding, E. *Lambert's Photometrie*. (1891). W. Olswald's Klassiker der exakten Wissenschaften, W. Engelmann, Leipzig, Vol 31-32.
- MILLÁN VERDU, C.; GARRIGÓS OLTRA, LI.; BLANES NADAL, G.; DOMINGO BELTRÁN, M. (2003) "The History of Optical Analysis of Milk: The Lactoscopes". *Journal of Chemical Education*, 80(7), 762-767.
- MITTELSTRASS, ? (1880) "Milchprüfer von Gebrüder Mittelstrass in Magdeburg". *Dingler's Polyt. Journal*, 238, 413-414.
- OLESKO, K.M. (1995) "The meaning of precision", en: WISE, N. (Ed.) (1995) *The Values of Precision*, Princeton University Press, Princenton, 103-134.
- PAYEN, J. (1986) "Les constructeurs d'instruments Scientifiques en France au XIX^e siècle". *Archives Internationnelles d'Histoire des Sciences*, 36, 84-161.
- PAYEN, A. (1822) "Mémoire sur le charbon animal". *Journal de Pharmacie et Sciences Accessoires*, 8(5-6), 278-293.

- PAYEN, A.; CHEVALLIER, A. (1825) *Traité Élémentaire des Réactifs*, Chez Thomine, Paris, 2^a ed.
- QUEVENE, T.A. (1842) *Instruction pour l'usage du lacto-densimètre, suivie d'une notice sur le laits.*, Paris, Chez Charles Chevallier [Ingénieur-opticien, Palais Royal, 163, Galerie de Valois].
- RHEINECK, H. (1871) "Ein colorimeter; von H. Rheineck". *Dingler's Polyt. Journal*, 201, 433-435.
- _____ (1872) "Ein neues colorimeter" . *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 11, 301-302.
- SÉGUIER, P. (1843) "Rapport sur un Mémoire de M. Donné...". *Comptes Rendus*, 16, 585-598.
- STOHMANN, F. et al (circa 1930) *Gran Enciclopedia de Química Industrial*. Barcelona. Francisco Seix, Ed., 12 vol.
- VOGEL, A. (1863) a) "Dr. Alfred Vogel's optische Milchprobe". *Dingler's Polyt. Journal*, 167, 62-63; b) "Eine neue Milchprobe". *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 2, 103-106.
- WISE, M.N. (1988) "Mediating Machines", *Science in Context*, 2 (1), 77-113.
- WISE, M.N. (Ed.) (1995) *The Values of Precision*, Princeton University Press, Princeton.
- YOE, J.H. (1928-1929) *Photometric Chemical Analysis*, John Wiley and Sons, New York; Chapman & Hall, London; 2 vol, Vol I (1928) Colorimetry, Vol II (1929), Nephelometry.