

# “ANSCHAUUNG” VERSUS VISIÓN MATEMÁTICA EN ØRSTED: “QUIZÁS ES HORA DE QUE LAS MATEMÁTICAS INTENTEN ACERCARSE A LA FILOSOFÍA NATURAL”

*Anja Skaar Jacobsen*  
Universidad de Aarhus, Dinamarca

## 1. Introducción

Ørsted y las matemáticas parecen dos polos opuestos. Es bien sabido que Hans Christian Ørsted (1777-1851) rara vez usó herramientas matemáticas en sus trabajos científicos y ello fue una opción deliberada por su parte<sup>1</sup>. Los propios estudiosos han lamentado esto. Por ejemplo, Kirstine Meyer sugirió que Ørsted podría haber jugado un papel mayor en el desarrollo de la teoría del electromagnetismo si hubiese sido más hábil matemáticamente y si hubiese entendido mejor la teoría “electrodinámica” matemática de Ampère<sup>2</sup>. Olaf Pedersen riñó a Ørsted por no haber introducido correctamente la mecánica de Newton, esto es, en su forma matemática apropiada, en la Universidad de Copenhague, cuando tuvo la oportunidad<sup>3</sup>. Siguiendo ese enfoque, por supuesto que la relación de Ørsted con las matemáticas parece ser meramente una mancha oscura en la historia de la física danesa.

---

<sup>1</sup> Ver por ejemplo Pedersen, 1987, pp. 140-149, 1988, pp. 154-162, Meyer, 1920, pp. clv-clxii.

<sup>2</sup> Meyer, 1920a, p. cviii, 1920, p. clxi.

<sup>3</sup> Olaf Pedersen ha documentado que el libro de texto de mecánica de Ørsted en sus varias ediciones (ver debajo) y las enseñanzas de Ørsted sobre mecánica, en combinación con su gran autoridad en asuntos de política de investigación, tuvo un resultado negativo para la implementación y difusión de la mecánica de Newton en Dinamarca a lo largo del siglo XIX (Pedersen, 1987, 1988).

Sin embargo, a pesar del hecho de que rara vez trabajó matemáticamente, la cuestión acerca de una visión matemática frente a una visión más inmediata e intuitiva de los fenómenos naturales fue importante para Ørsted, ya que era partidario de esta última y a menudo sentía que necesitaba explicarla y defenderla. Durante toda su vida Ørsted dedicó mucho tiempo a pensar en los problemas de representación e intentó promover su propio método científico *Veranschaulichen*<sup>4</sup> como una alternativa al enfoque matemático abstracto. Sin embargo, ni desechó ni se opuso totalmente al método matemático. ¿Por qué? ¿Para qué lo necesitaba? Estas preguntas, que intentaremos contestar a continuación, iluminarán nuevos aspectos sobre Ørsted. Naturalmente no esperemos encontrar un genio matemático no reconocido hasta ahora. Más bien, como veremos, investigar de cerca la relación de Ørsted con las matemáticas lleva a un mejor entendimiento, por ejemplo, de su gran proyecto de unificación de las ciencias, que aparentemente involucraba también a la geometría en más de un sentido.

A continuación presentaré las opiniones de Ørsted sobre el método científico, con especial referencia al papel que Ørsted atribuyó a la representación matemática en la filosofía natural. Describiré y analizaré cómo ello afectó a su propio trabajo sobre la mecánica y la química, y expondré un hasta aquí desconocido –o así parece– proyecto de geometría que Ørsted comenzó en 1807-08, pero que al parecer quedó en nada.

## 2. El método de Ørsted

En la historia de la ciencia romántica se asevera con frecuencia que la *Natürphilosophie* y el Romanticismo se oponían directamente a una descripción mecánica y matemática de la naturaleza, que era la característica fundamental de la corriente principal de la ciencia francesa a comienzos del siglo XVIII. En cambio el Romanticismo implicó preguntas cualitativas sobre la naturaleza, tanto experimentales como especulativas, en el contexto de una visión global dinámica y orgánica<sup>5</sup>. Ørsted a menudo es retratado como el prototipo del científico romántico<sup>6</sup>. Debido a la influencia de la *Natürphilosophie*, estaba preocupado por la unidad, el dualismo, la polaridad en la naturaleza y la creencia de que todo el conocimiento podría sintetizarse en un todo armonioso. Buscaba la estructura subyacente a la natu-

---

<sup>4</sup> La palabra alemana *Anschauung* para el equivalente danés *Anskuelse* se traduce como visión o intuición inmediata. Como también aparecerá en lo sucesivo, señalemos que Ørsted empleó el término en este sentido y no en el sentido del más esquematizado *Anschauung* de Kant como formas mentales pasivas, espaciales y temporales, a través de las cuales los datos de los sentidos se presentan al entendimiento.

<sup>5</sup> Caneva, 1975, 1993, pp. 282-283, Nielsen, 1989.

<sup>6</sup> Véase, por ejemplo, Gower, 1973, Williams, 1973, Caneva, 1997.

raleza fundamental, eterna e ideal y pensó que había encontrado un aspecto central de ella cuando descubrió el electromagnetismo. Finalmente, se inclinó por el dinamismo y rechazó el atomismo mecánico o “físico”, esto es, la creencia en átomos sólidos, duros, impenetrables e indivisibles, como bloques más pequeños de la materia.

Aunque Ørsted creyó que la *Anschauung* y el descubrimiento de los verdaderos principios fundamentales de la naturaleza podrían ser posibles a través de un sentido interno, de una *intuición intelectual*, y aunque construyó sistemas especulativos de la naturaleza a cuenta de eso, aun así se distanció de Schelling, Steffens y otros *Natürphilosophen* puramente especulativos, por acentuar la importancia de la evidencia experimental para apoyar o confirmar la construcción del sistema<sup>7</sup>. Por otro lado, despreció la recopilación de datos puramente empírica practicada por muchos filósofos naturales, particularmente en la química de entonces. Así Ørsted se inclinó por un enfoque que extraía elementos tanto de la experiencia como de la razón<sup>8</sup>. La pregunta surge entonces: ¿Qué papel, si es que alguno, jugaron las matemáticas en este esquema? ¿Y cómo se relaciona la descripción matemática con la *Anschauung* en una teoría científica, según Ørsted?

### 3. *Anschauung* contra visión matemática

Ørsted nunca aprendió muchas matemáticas, ni de muchacho ni de estudiante. Creció en la botica de su padre, en un pueblo pequeño, Rudkjøbing, situado en una isla remota del sur de Dinamarca. En aquel momento no había escuela en la isla, y aparte del entrenamiento farmacéutico en el laboratorio farmacéutico, la educación que adquirió fue más bien fortuita. Un fabricante de pelucas alemán y su esposa, en cuya casa pasaba los días con su hermano, les enseñó alemán y cosas de la Biblia. Por otra parte, los visitantes de la botica, que también funcionaba como posada local, habrían cuidado la educación de los hermanos en otras áreas. Sin embargo, al parecer nadie pudo enseñarles más que las reglas elementales de cálculo<sup>9</sup>.

Cuando Ørsted tenía 17 años fue a Copenhague para matricularse en la universidad. Pronto aprobó los exámenes de acceso y los cursos preliminares y se interesó por la astronomía y la filosofía natural [Physik] entre otras cosas. También hizo cursos de matemáticas elementales y estudió a Euclides, antes de especializarse en química (o más bien farmacia) y filosofía<sup>10</sup>. Resumiendo, Ørsted tenía una formación pobre en matemáticas, con el resultado de que

<sup>7</sup> Jacobsen, 2000, pp. 70-76, Williams, 1973, pp. 9-10, Stauffer, 1957.

<sup>8</sup> Ørsted, 1807-08, “Geometrie”, pp. 5-6.

<sup>9</sup> Billeskov Jansen, 1987, p. 7.

<sup>10</sup> Jacobsen, 2000, pp. 3-4.

nunca sentía o mostraba la misma confianza con las matemáticas como, en general, con las materias de la filosofía natural. Más de una vez sugirió, por ejemplo, que eran los expertos quienes debían probar las ideas suyas sobre geometría<sup>11</sup>. Es innecesario decir que esta falta de confianza influyó en su opinión sobre las matemáticas; una opinión que, salvo la preocupación creciente de Ørsted por la popularización de la filosofía natural y su consiguiente distanciamiento de la descripción matemática, no se alteró mucho a lo largo de su carrera. Sin embargo, el cuadro no es tan sencillo como parece.

De hecho, Ørsted no tenía absolutamente nada contra las matemáticas como tales, e incluso admitía el hecho de que “*las matemáticas juegan un papel importante en la presentación de la filosofía natural [Naturlærens Foredrag]*”<sup>12</sup>. Esta declaración es probablemente el documento más importante con respecto a la opinión de Ørsted sobre el método científico, a saber, su *Primera introducción a la Filosofía Natural General*, que contiene o consiste en un manifiesto metodológico y epistemológico. Según Ørsted, estaba en la naturaleza de las cosas que “*cada cambio tiene su magnitud, y también cada una de sus partes. Estas magnitudes, así como la manera en que los cambios se siguen unos a otros, sólo puede determinarse con la ayuda de las matemáticas*”. Así, las matemáticas “*presentan las leyes naturales de las magnitudes*”, la filosofía natural “*las leyes de los objetos que tengan magnitud [...] Por consiguiente las una siempre han servido al desarrollo de la otra*”. Ørsted parangonaba “*matemáticas aplicadas y filosofía natural*”, porque ambas “*tratan con los mismos objetos y también comparten el deseo de mostrar la conexión racional entre tales objetos*”<sup>13</sup>.

Muchos años más tarde Ørsted fue indirecta, pero aún así severamente criticado por los miembros de la comunidad matemática danesa por su renuente punto de vista sobre la aplicación de las matemáticas a la filosofía natural<sup>14</sup>. Respondió a las críticas y admitió que “*es muy importante para la filosofía natural [Physiken] que sus verdades también se representan en la forma de las matemáticas*”<sup>15</sup>.

Sin embargo, según Ørsted, la descripción matemática tenía sus inconvenientes. Uno tenía que ser cauto “*y luchar contra la fea aplicación de esos axiomas abstractos que podrían llevar fácilmente a consecuencias peligrosas desde un punto de partida en sí mismo correcto*”<sup>16</sup>. Así que el método matemático no siempre proporcionaba la verdadera visión intuitiva de la naturaleza, tal como lo hacía el método experimental, según Ørsted. Más

<sup>11</sup> Ørsted, 1799, p. 341, 1811(1998), p. 297.

<sup>12</sup> Ørsted, 1811(1998), pp. 296.

<sup>13</sup> Ørsted, 1811(1998), pp. 296-297.

<sup>14</sup> Para este episodio véase Pedersen, 1988, pp. 148-149, Meyer, 1920, pp. cliv-clxiv.

<sup>15</sup> Ørsted, 1847, p. 1438. Las cursivas en negrita son mías.

<sup>16</sup> Material biográfico inédito del periodo 1829-38, papeles de Ørsted 4 en la Royal Library, citado por Meyer, 1920, p. clxiii.

bien los matemáticos se quedaban satisfechos con las conexiones abstractas y artificiales de los fenómenos naturales. Considera que “*el estudiante de la naturaleza [Naturgrandskeren] [...] intenta básicamente encontrar la conexión más inmediata entre los efectos de las varias fuerzas naturales*”, y que “*a menudo deduce los teoremas directamente de la naturaleza de un efecto, [...] el matemático sólo llega tortuosamente a ellos desde alguna verdad básica sobre la que prefiere construir*” y se queda “*satisfecho con una conexión artificial*”. El estudiante de la naturaleza consigue una experiencia inmediata, pero fundamental, de la naturaleza “*que el matemático sólo puede pedir prestada*”<sup>17</sup>.

Según Ørsted, “*el estudio correcto de la ciencia debe presentar y enseñar [foredrage] la filosofía natural de una manera distintiva [eiendommelig] basada en su naturaleza*”<sup>18</sup>. Esto significaba presentar los fenómenos en su esencia o efecto, lo que significaba presentarlos en su llegada a la existencia o en embrión, porque de este modo se lograba la visión de las propiedades *activas*, que eran fuerzas, según la terminología dinámica de Ørsted. Este sentía que con frecuencia las representaciones matemáticas no se atenían a esta “forma natural” de la ciencia.

Por ejemplo, Ørsted hablaba de “*presentar la teoría de la acción capilar en su forma más fácil y más apropiada de filosofía natural*”, que desde luego no era “*la gran obra de arte matemática*” de Laplace<sup>19</sup>. Estaba refiriéndose a un fenómeno producido por la acción capilar, a saber, que dos paredes móviles sumergidas en un líquido se acercarían entre sí (ver figura 1). En su teoría matemática del fenómeno, Laplace se permitió responder que las paredes se acercan por la presión *negativa* resultante, ejercida por el líquido sobre las paredes por encima del nivel del líquido en el recipiente más grande. Ørsted dijo que esta explicación teórica no proporcionaba una visión intuitiva del fenómeno real. ¿Podría ser suficiente para el matemático explicar el fenómeno abstractamente mediante una presión negativa, pero el filósofo natural no podría entender intuitivamente cosas tales como una presión negativa! Ørsted sugirió pensar este efecto de la acción capilar en términos de lo opuesto a una presión, de lo que para él era una atracción *positiva* o un “acercamiento” [Nærmelse] entre el líquido y las dos paredes<sup>20</sup>. Una atracción positiva era una propiedad activa o una fuerza ejercida por el líquido ¿Pero qué sería una presión negativa? Así él explicaría el fenómeno en términos de fuerzas activas, que consideraba que era la forma más apropiada. La descripción matemática de Laplace no era equivocada o fea como tal. De hecho Ørsted la reconoció como un fino ejemplo de arte matemático, pero que no proporcionaba la *Anschauung* del fenómeno observado al introducir

<sup>17</sup> Ørsted, 1811(1998), p. 296.

<sup>18</sup> Meyer, 1920, p. clxiii., también ver Ørsted, 1831, col. 856, 1847, p. 1438.

<sup>19</sup> Ørsted, 1819-20(1920), p. 444, Ørsted, 1831, col. 857.

<sup>20</sup> *Ibid.*, Ørsted, 1809, p. 248, 1816, § 247, pp. 298-300.

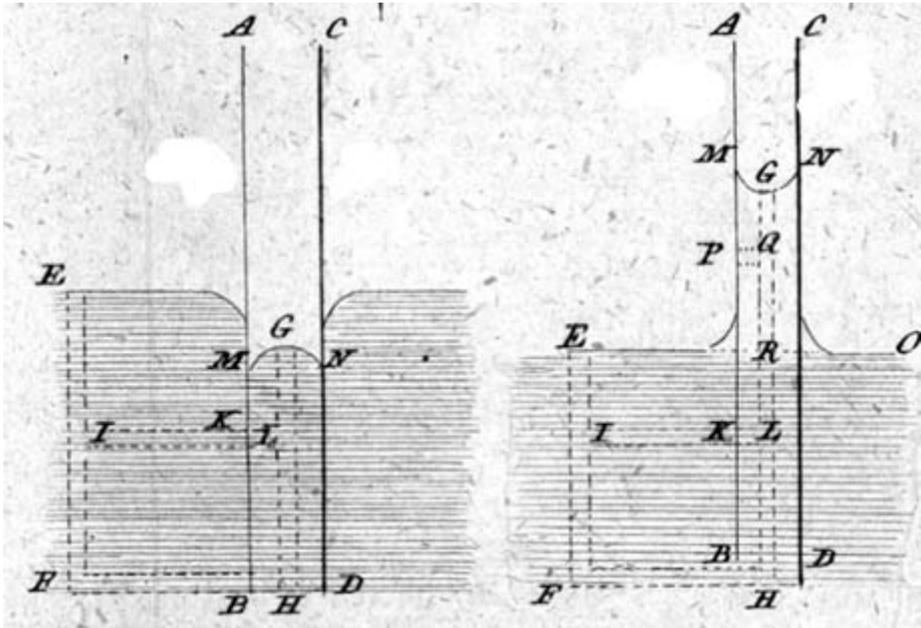


Figura 1. Acción capilar que produce dos paredes móviles, AB y CD, acercándose (Ørsted, 1816, § 247, pp. 298-300, Tabla IX)

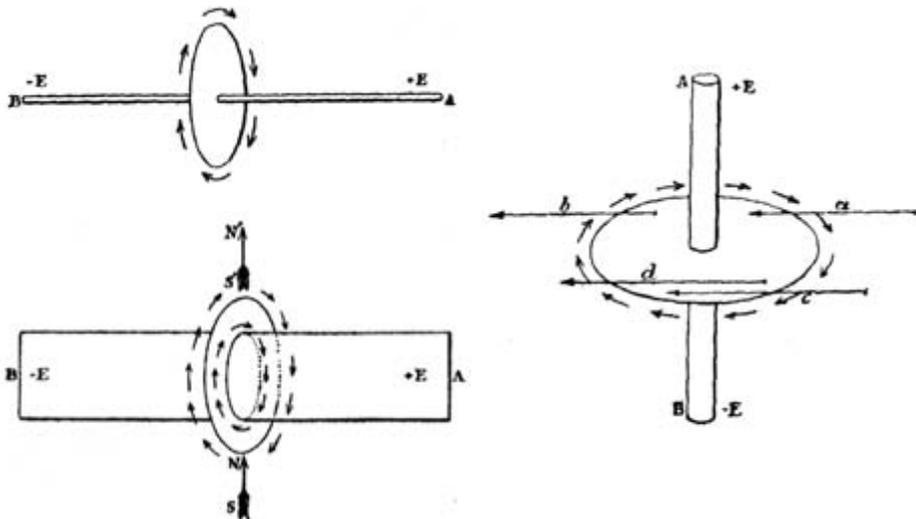


Figura 2. Imágenes del efecto circular de la fuerza electromagnética. En todas las imágenes BA es el conductor en que la dirección de la corriente es AB. En dos casos se ponen las agujas magnéticas en la vecindad del conductor, denotadas por SN, SN' o a,b,c,d (Ørsted, 1830(1998), pp. 549-551).

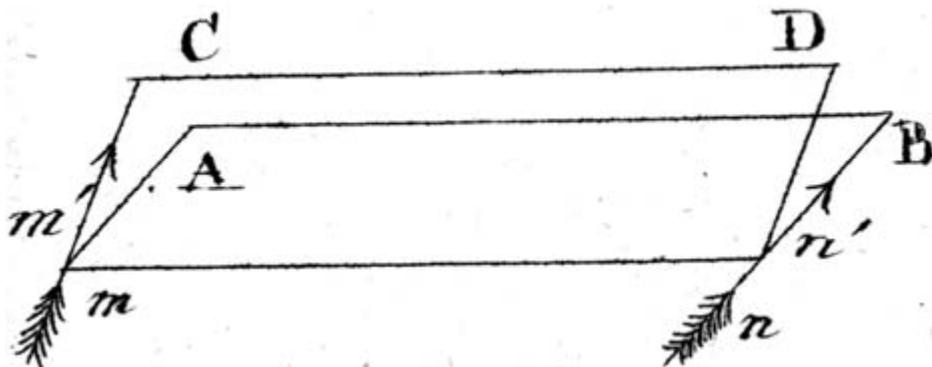


Figura 3. Ilustración de dos elementos minúsculos de corriente interactuantes –  $mm'$  y  $nn'$  – con dirección arbitraria en el espacio. Las flechas indican la dirección de la corriente (Ampère & Babinet, 1822, Tabla 1)

una presión negativa en la explicación. En particular no proporcionaba la *Anschaung* “correcta” en lo que se refiere a una explicación basada en las fuerzas activas. Aunque Ørsted decía que “el matemático”, con la misma facilidad, podría haber descrito una acción positiva del líquido si la hubiera encontrado adecuada para su objetivo, el propio Ørsted no intentó adelantar ningún formalismo matemático alternativo que proporcionara esa *Anschaung* “correcta”<sup>21</sup>.

La teoría del electromagnetismo proporciona otro ejemplo en el que la imagen que surge de la formulación matemática resulta inaceptable para Ørsted. En sus primeros trabajos de investigación sobre este asunto, Ørsted propuso una ley electromagnética del fenómeno, declarando que la fuerza electromagnética, producida por la aguja magnética en el conductor que lleva la corriente, giraba en circuitos alrededor del mismo conductor de corriente. Por tanto, había una simetría cilíndrica alrededor del conductor (ver figura 2); un cuadro explicativo del fenómeno al que justamente se aferró el resto de su vida<sup>22</sup>. La teoría de Ampère, por otro lado, proporcionaba un cuadro totalmente diferente del efecto electromagnético. Ampère declaró que todos los fenómenos magnéticos y electromagnéticos podían originarse en simples atracciones y repulsiones entre elementos de corriente infinitesimales, que él imaginaba que estaban dentro del imán (véase figura 3). De nuevo Ørsted declaró que su propia teoría proporcionaba más *Anschaung* del fenómeno en cuestión. Aunque Ørsted también encontró la teoría de Ampère complicada matemáticamente, el punto esencial de su crítica era que la teoría no revelaba lo que

<sup>21</sup> Ørsted, 1816, p. 300, 1819-20(1920), p. 444, 1831, col. 857.

<sup>22</sup> Ver Ørsted, por ejemplo, 1820-21(1998), p. 426, 1830(1998), pp. 549-52, Meyer, 1920a, p. cviii.

“realmente” sucedía en el electromagnetismo; por ello nunca reconoció la teoría de Ampère<sup>23</sup>.

Según Ørsted, el método elegido tenía implicaciones no sólo por cómo se representaba la realidad física, sino también para el filósofo natural *per se* con respecto a su práctica investigadora. La *Anschaulichkeit* haría reaparecer los fenómenos naturales en idea o en espíritu. Pero si el filósofo natural se apoyaba meramente en las pruebas matemáticas o tomaba las matemáticas como punto de partida, como afirmaba Ørsted que hicieron Ampère y Laplace en los ejemplos arriba mencionados, perdería su libertad de mente o espíritu [Aandsfrihed], que él consideraba tan importante en el escrutinio de la naturaleza. Mediante su propio enfoque, por consiguiente, Ørsted quería liberar dicho espíritu<sup>24</sup>.

Aunque Ørsted adoptó un enfoque conceptual en la primera edición de su libro de texto sobre mecánica, todavía creía que ciertos fenómenos mecánicos, como la fuerza centrípeta y la ley de atracción universal, no se podían describir sin “las matemáticas superiores”, o sea, cálculo diferencial e integral<sup>25</sup>. Esta tendencia a expresar los fenómenos naturales conceptualmente como una alternativa a las descripciones matemáticas se acrecentó durante su carrera. A veces parece haber sido casi una cuestión de principios, insistiendo en una descripción conceptual paralela de cada descripción matemática<sup>26</sup>. Finalmente, no dejó mucho espacio para la descripción matemática en su definición de una teoría:

Una teoría es una interpretación, una visión espiritual de la conexión racional de las cosas. Sólo *aquel* que encuentra el camino al espíritu a través de la letra está en posesión de una teoría.<sup>27</sup>

Así, el único acceso a la visión teórica real pasa por “la letra”, o sea, la descripción conceptual, mientras que no hay ninguna mención de modelos matemáticos.

Obviamente, el enfoque más intuitivo parecía irle bien a Ørsted. ¿No descubrió el electromagnetismo siguiendo ese enfoque? Definitivamente adquirió una visión más amplia de la naturaleza a través de su combinación de investigación especulativa y experimental más que mediante los modelos matemáticos. Claro que ello está relacionado con el hecho de que no era un matemático sofisticado. En una época tardía de su vida, cuando había obtenido resultados científicos importantes por medio de sus especulaciones

<sup>23</sup> Ørsted, 1820-21(1998), p. 426, 1830(1998), pp. 568-69, Ørsted, M., 1870, vol. 2, p. 65, Meyer, 1920a, p. cxv.

<sup>24</sup> Ørsted, 1805(1920), pp. 92-93, Ørsted, 1831, col. 855, 1847, p. 1438, y material biográfico inédito sobre el periodo 1829-38, los papeles 4 de Ørsted en la Royal Library, citado por Meyer, 1920, clxiii.

<sup>25</sup> Ørsted, 1809, pp. 102, 104, 195.

<sup>26</sup> Ver Ørsted, por ejemplo, 1839(1920), p. 55

cualitativas y experimentales –siendo el más importante su descubrimiento del electromagnetismo– sólo podía, pues, animar a los estudiantes a que siguieran el mismo camino. De hecho animó a los estudiantes a que ampliaran sus estudios de filosofía natural con cursos de matemáticas<sup>28</sup>, pero no podía aconsejar a nadie hacerse primero matemático antes de entrar en el campo de la filosofía natural porque:

Eso normalmente deriva en una notable oscuridad y confusión en la *Anschaung* de la naturaleza: Que ciertos hombres de genio característico, por ejemplo, Newton, Laplace y Gauss, hayan seguido ese camino, obviamente con suerte, no demuestra que sea aconsejable.<sup>29</sup>

Ørsted afirmaba que las matemáticas eran el punto de partida para Ampère, por ejemplo. Eso había llevado a Ampère a una *Anschaung*, interpretación o visualización errónea del efecto electromagnético. En general, aprender el método matemático, enfatizó Ørsted, llevaría a esos estudiantes que “no poseían un sentido distintivo de la naturaleza”, a fijarse en “la pluralidad” en lugar de la unidad. No llevaría a los estudiantes a ver la armonía de las cosas<sup>30</sup>.

Pero si las matemáticas no contribuyeron necesariamente a la “verdadera” imagen de los fenómenos físicos, ¿para qué las necesitaba Ørsted? No está claro si la definición de Kant de la ciencia misma (cuando “*hay matemáticas en ella*”<sup>31</sup>) incluyendo su veredicto sobre la química (“*los principios de los fenómenos químicos [...] no son susceptibles de aplicación de las matemáticas*”<sup>32</sup>) tuvo algo que ver explícitamente, pero es bastante probable. Al menos, el *dictum* kantiano reflejaba claramente la opinión generalizada de los filósofos naturales del momento.

#### 4. La agenda de investigación y enseñanza de Ørsted

Arraigada en el pensamiento de la Ilustración, Ørsted dividió la filosofía natural en filosofía natural general y filosofía natural específica. La filosofía natural general estaba basada en las causas y leyes fundamentales racionales, conteniendo un elemento de deducción *a priori*. La filosofía natural específica era meramente una ciencia descriptiva, consistente en una acumulación de hechos empíricos unidos por algunas leyes empíricas. No tenía

<sup>27</sup> Ørsted, 1852, pp. 104-105.

<sup>28</sup> Ørsted, 1811(1998), p. 305.

<sup>29</sup> Ørsted, 1847, p. 1438.

<sup>30</sup> Ørsted, 1845, la Royal Library, citado por Meyer, 1920, clxii.

<sup>31</sup> Kant, 1786(1985), pp. 6-7.

<sup>32</sup> *ibid.*, pp. 7-8.

ninguna estructura deductiva. En la parte específica de la filosofía natural incluía la historia natural y la química tal como esta ciencia “solía ser” antes de que él la presentara como parte de su propio sistema dinámico. Mientras que esta química “anterior” trataba de las composiciones y descomposiciones de sustancias químicas y se preocupaba por encontrar constituyentes y elementos, Ørsted intentó cambiar ese enfoque hacia las *propiedades químicas activas*, o sea, fuerzas; la praxis química debía ocuparse de la clasificación de sustancias según tales propiedades químicas<sup>33</sup>.

Ørsted prosiguió dividiendo la filosofía natural general en *mecánica* y *dinámica*, una reminiscencia de la metafísica de la naturaleza de Kant y del pensamiento ilustrado en general. A veces Ørsted se refería a la mecánica como la parte matemática de la filosofía natural, lo que era bastante común<sup>34</sup>. Por otra parte denominaría mecánica la doctrina del movimiento y dinámica la doctrina de la fuerza. La dinámica comprendía la química, además de la teoría del calor, la luz, el galvanismo, el magnetismo y la electricidad. No es sorprendente que el sistema dinámico de Ørsted tratara los mismos asuntos tratados en el sistema entonces predominante de los imponderables. Incluso era bastante común atribuir todas las teorías del comportamiento interno de estos imponderables a la química, como también hizo Ørsted<sup>35</sup>.

La diferencia entre el sistema de Ørsted y el de los imponderables residía en la teoría de la materia y en qué debía considerarse como principio unificador de los temas en cuestión. En la teoría de las imponderables, la unidad era una consecuencia de un modelo matemático unificador de fuerzas centrales, mientras que en el sistema dinámico de Ørsted la unidad se buscaba cualitativamente en términos de la naturaleza polar de dichos fenómenos. Ørsted, como la mayoría de los románticos, se oponía al sistema materialista atomista en que se basaba la teoría de los imponderables. Su teoría de la materia era dinámica e inmaterial; en lugar de tener átomos como entidades primarias, Ørsted asumió dos fuerzas *químico-eléctricas* fundamentales, a las que todos los fenómenos dinámicos pudieran remitirse. Así, las fuerzas constituyen la materia, no los átomos. Su sistema dinámico también era holístico en lugar de “atomista”, en el sentido de que en su sistema dinámico el todo era más que la suma de sus partes y todos los fenómenos particulares debían considerarse por referencia al todo<sup>36</sup>.

Tan pronto como Ørsted regresó de su primer viaje científico a Alemania, Francia y Países Bajos, a principios de 1804, se propuso introducir su programa de filosofía natural general en su enseñanza e investigación en la Universidad de Copenhague. Preparó un programa de investigación en ciencia dinámica y un programa de enseñanza en las dos ramas de la filosofía

<sup>33</sup> Jacobsen, 2000.

<sup>34</sup> Ørsted a Oehlenschläger 1809, Ørsted, M., 1870, vol. 1, pp. 281-82.

<sup>35</sup> Heilbron, 1993, pp. 28-29, también ver Heilbron en este volumen.

<sup>36</sup> Jacobsen, 2000.

natural general, la mecánica y la dinámica<sup>37</sup>. Después de convertirse en profesor de filosofía natural [Physik] en 1806 empezó también a escribir sus propios libros de texto para apoyar este programa. Empezó una trilogía de libros de texto, el primero sobre mecánica, el segundo sobre química dinámica, el calor y el galvanismo, y el tercero sobre las partes más avanzadas de la dinámica, como el magnetismo, la electricidad y la luz. Sin embargo sólo completó el libro de texto sobre mecánica,<sup>38</sup> lo que es quizás irónico, ya que sus investigaciones se relacionaron principalmente con su sistema dinámico. El libro de texto sobre mecánica incluso llegó a aparecer en algunas ediciones revisadas, mientras que nunca completó los libros de texto en el área objeto de su propia investigación.<sup>39</sup>

## 5. Experimentos mentales versus pruebas matemáticas en Mecánica

El libro de texto sobre Mecánica, se publicó en 1809 e iba destinado tanto a cursos universitarios elementales como a cursos más avanzados<sup>40</sup>. Ørsted escribió a su amigo Oehlenschläger ese año:

La primera parte de mi libro de texto [...] contiene sólo la parte matemática de la filosofía natural. He estudiado toda esta parte yo mismo y he sacado cosas de Newton, de Laplace y otros cuantos. Algunos de nuestros filósofos de la Naturaleza quizá no lo comprendan, pero yo he capacitado a mi audiencia para hacerlo [...] No puedes imaginar cuánto placer me aporta estudiar todos estos temas. Veo en ellos la anatomía y la fisiología del mundo entero. Pero para comprender esto correctamente en su totalidad y grandeza a menudo hay que perderse en fastidiosas cuestiones de detalle<sup>41</sup>.

Lo que distingue este libro de texto de los demás es un largo capítulo introductorio sobre método, historia y filosofía de la ciencia, capítulo que desarrolló y alargó, y aparte de introducirlo en las siguientes ediciones del libro

<sup>37</sup> Jacobsen, 2000, pp. 127-132.

<sup>38</sup> Una copia (probablemente una prueba de imprenta) de la segunda parte de la trilogía, *The Doctrine of Force*, se descubrió en 1996. Actualmente está siendo transcrita y traducida por la autora de este artículo y Helge Kragh.

<sup>39</sup> Todavía en 1844 Ørsted esperaba completar su trilogía de libros de texto. Ese año una segunda edición de su libro de texto de 1809 sobre mecánica se publicó “oficialmente” (*i.e.*, con página de título), ahora llamado “The Mechanical Part of Natural History”, y planeó un segundo volumen sobre el calor y la luz, así como un tercer volumen sobre electricidad, magnetismo y galvanismo. Aparte de no mencionar la teoría química los contenidos de la trilogía eran los mismos que 30 años antes (Ørsted a Hansteen, 1844, Harding, 1920, vol. 1, p. 211).

<sup>40</sup> Ørsted, 1809, pp. viii-ix. De hecho este primer volumen estaba ya concluido en 1807, pero la edición completa de la obra resultó destruida durante el bombardeo inglés de Copenhague ese año (Toftlund Nielsen, 2000, p. 28).

<sup>41</sup> Ørsted, M., 1870, vol. 1, pp. 281-282.

de texto sobre Mecánica lo publicó por separado en 1811<sup>42</sup>. Otra característica es que Ørsted defendió la teoría mecánica de la materia en el capítulo introductorio sobre “Propiedades generales y relaciones de los cuerpos”<sup>43</sup>. Pero más importante y notable, y quizá la razón de que “[...] *algunos de nuestros filósofos de la Naturaleza quizá no lo comprendan* [...]”: Ørsted presentaba la Mecánica de modo casi puramente conceptual, o lo que él calificaba de experimental, con objeto de hacer el libro de texto más popular y fácilmente comprensible. Por tanto excluía de la Mecánica en mayor o menor medida las fórmulas matemáticas<sup>44</sup>. Lo cual es notable porque, como todo el mundo, él llamaba Mecánica a la parte matemática de la filosofía natural y porque frecuentemente expresaba su admiración por la Mecánica de Newton, no sólo por su poder deductivo en términos de unos pocos principios fundamentales de los que se deducía todo lo demás, sino además por su representación matemática general, manifestando la esperanza de que su propio sistema dinámico encontrara algún día su propio matematizador.

Ørsted sustituyó las pruebas matemáticas por “*experimentos mentales y materiales*”<sup>45</sup>. Por experimentos mentales entendía realizar “*acciones mentales para ver lo que se producirá o lo que se seguirá de ello*”<sup>46</sup>, y consideraba los experimentos mentales un medio de prueba más apropiado para la filosofía natural que las pruebas matemáticas:

Tales experimentos realizados con la mente son un tipo de prueba matemática que se ajusta a la filosofía natural mejor que los que siguen el método usual [...] Casi todos los experimentos mecánicos deben tratarse de ese modo y la doctrina del movimiento necesita, por tanto, mucho menos material experimental que la parte dinámica<sup>47</sup>.

<sup>42</sup> Ørsted, 1811(1998). La siguiente edición “no oficial” del libro de texto sobre mecánica se imprimió sin títulos de página. Por eso Pedersen lo llamó erróneamente según el título de su capítulo introductorio: “Primera introducción a la Ciencia General de la Naturaleza” y lo fechó en 1811 (Pedersen, 1988 p. 1433 ss.). Queda claro a partir de las referencias del libro que se imprimió alrededor de 1816.

<sup>43</sup> Ørsted, 1809, p. 46. Se refería a las dos fuerzas fundamentales de la materia según Kant, pero dejando claro que ya no consideraba suficiente las ideas de Kant sobre estos temas. (Ørsted, 1807-08, “Mathematik”, p. 3).

<sup>44</sup> Paradójicamente el astrónomo y adepto a las matemáticas, así como archienemigo de Ørsted, Thomas Bugge, criticó este manual por su contenido de “cálculo superior, tanto cálculo integral como diferencial”. Ørsted empleaba el cálculo diferencial e integral en su tratamiento de los movimientos causados por una fuerza central, en referencia a la gravitación universal, la oscilación del péndulo, y algunas pocas cosas más (Ørsted, 1809, §92-§93, §104, §135). Bugge consideraba este uso “superfluo” porque se podía ilustrar las proporciones mediante “matemáticas básicas” en casi todos los casos, y lo consideraba “impropio” porque hacía que la filosofía natural resultara más incomprensible y difícil para la gente no familiarizada con el cálculo infinitesimal (Bugge, vol. 1, 1813, pp. 15-16).

<sup>45</sup> Ørsted, 1809, pp. 66 ss., 1811 (1998), p. 297.

<sup>46</sup> Ørsted, 1854, p. 7.

<sup>47</sup> Ørsted, 1809, p. 72.

Los experimentos mentales eran particularmente útiles en cuestiones en las que no era posible realizar experimentos “materiales”. Por tanto, debían ser complementos o instrumentos provechosos en los casos de explicación incompleta o insuficiente de los fenómenos. La introducción de los experimentos mentales permite también a Ørsted hacer sitio a hipótesis teóricas:

A los experimentos mentales también pertenecen las hipótesis en su aplicación correcta; porque uno intenta ver hasta dónde puede explicar un suceso natural o una serie de sucesos naturales a partir de cierta idea fundamental; esto se hace derivando de ella, hasta donde sea posible, todas sus consecuencias y comprobando si realmente se dan como tal en la experiencia. Tales experimentos mentales pertenecen absolutamente a la naturaleza de la ciencia<sup>48</sup>.

Puesto que Kant habló de “*experimentos de la razón pura*” en filosofía, aparentemente Ørsted es el primero que habla literalmente sobre “experimentos mentales” en la ciencia como tal<sup>49</sup>. Probablemente incluso heredó el término de Kant, a quién frecuentemente se refiere en su manual de Mecánica. El elemento experimental en la formación de hipótesis se presenta como una variación de las hipótesis invocadas con vistas tanto a las consecuencias deductivas y su correspondencia con la realidad cuanto a la correspondencia lógica con el conjunto ya aceptado de leyes naturales y explicaciones teóricas. Por tanto, como la teoría en general, los experimentos mentales deberían ajustarse tanto empírica como teóricamente; deberían formar un grupo coherente y completo de explicaciones teóricas.

Ørsted se unió a las voces críticas con la tendencia dominante a contemplar la mecánica como epistemológicamente equivalente a la geometría, o sea, como una ciencia puramente axiomática-deductiva, tendencia que ha sido denominada *Euclidismo*<sup>50</sup>, al afirmar:

Muchos de los mejores estudiantes de la filosofía natural [Naturlærens] han intentado en exceso imprimirle la forma de las matemáticas. O mejor, la de la geometría euclídea, por lo que ha llegado a ser considerada como matemáticas aplicadas. De este modo se despoja a la ciencia de su forma natural. El matemático trata de deducir todos sus teoremas a partir del menor número posible de verdades básicas simples. Todas las demás consideraciones se sacrifican al rigor de las pruebas<sup>51</sup>.

La objeción de Ørsted no se dirige tanto a la estructura axiomático-deductiva como a la presentación de pruebas matemáticas rigurosas. Quería conservar la estructura deductiva, pero reemplazar las pruebas matemáticas por

<sup>48</sup> Ørsted, 1854, p. 7.

<sup>49</sup> Pulte, en prensa.

<sup>50</sup> Pulte, 2001, pp. 62-63, ver también Pulte, 1993, 2000.

<sup>51</sup> Ørsted, 1811 (1998), p. 296.

experimentos mentales y de ese modo preservar o reintroducir la “forma natural” en esa ciencia.

Otro aspecto de la forma más apropiada de la filosofía natural es presentar las cosas tal como existen, o mejor dicho, tal como llegan a existir, y por tanto, lo que debería acentuarse para ayudar a los estudiantes a comprender los fenómenos naturales son las propiedades activas de las cosas. Si las matemáticas pudieran hacerlo, valen para Ørsted, pero si no, tales pruebas matemáticas, en las que las actividades y efectos verdaderos quedan ocultos, como en la explicación por Laplace de la capilaridad antes mencionada, deberían eliminarse de la filosofía natural<sup>52</sup>. Ørsted estaba convencido de que era posible alcanzar dicha forma genética de presentación también en matemáticas:

No es posible comprender la *existencia* de una cosa sin contemplar primero claramente su origen (*embryo*). Así pues, todo conocimiento es *genético*: las matemáticas podrían con facilidad avanzar *genéticamente* en todas partes<sup>53</sup>.

Ya que, refiriéndose a la Mecánica, le parecía que “*la filosofía natural ha sido suficientemente aproximada a las matemáticas, probablemente incluso demasiado*” sugirió que “*es hora quizá de que las matemáticas se aproximen a la filosofía natural*”<sup>54</sup>. Por matemáticas Ørsted parece significar aquí geometría, que por entonces (1807-08) era para él intenso objeto de estudio<sup>55</sup>.

## 6. Una geometría genética

Presumiblemente Ørsted tenía en mente la unificación, no sólo de la mecánica y la dinámica, sino también de la geometría y la filosofía natural en general. Esto implicaba asimismo la unificación de los métodos o formas de presentación. Pensaba conseguir la unificación de la mecánica y la dinámica de dos maneras: una, presentando la mecánica conceptualmente o según experimentos materiales y mentales; la otra, matematizando su propio sistema dinámico, aunque esta nunca llegó a realizarla. Mientras tanto intentó también cambiar la presentación de la geometría de modo que:

todos los teoremas geométricos se presenten en una serie de experimentos mentales. De este modo el propio matemático alcanzará una percepción mucho más clara e inmediata de la fuente real de cada verdad y la filosofía

<sup>52</sup> Ørsted, 1831.

<sup>53</sup> Ørsted, 1807-08, “Mathematik,” p. 7.

<sup>54</sup> Ørsted, 1811 (1998), p. 297.

<sup>55</sup> La autora y Henrik Kragh Sorensen están realizando actualmente un minucioso análisis de los manuscritos de Ørsted sobre geometría en dicho periodo.

natural ganaría una fusión mucho mayor que nunca antes con las matemáticas<sup>56</sup>.

Ørsted intentó extender su proyecto para la mecánica a la geometría, presentando a ésta genéticamente para hacerla *anschaulich*; en otras palabras, quiso *deseuclidizar* la geometría<sup>57</sup>. En 1807 escribió a Oehlenschläger:

Lástima que ningún señor filósofo comprenda las matemáticas y es un grave fallo, en especial para los filósofos de la naturaleza. Desde que nos vimos he profundizado en el estudio de las matemáticas y he encontrado en ella cosas divinas, especialmente en las matemáticas superiores. Dejemos que sólo ellos las menosprecien, quienes tienen que comprenderlas pero no lo hacen. He encontrado una forma completamente nueva de tratar la geometría, mediante la cual se unifica mucho más íntimamente con la filosofía natural y además resulta mucho más fácil de comprender. Se transforma totalmente en una doctrina del movimiento<sup>58</sup>.

Ørsted no sólo estudió “matemáticas superiores” –cálculo diferencial e integral– para escribir su manual de mecánica; a la vez intentó seriamente cambiar la presentación de la geometría, porque pensaba que haciéndola proceder genéticamente sería una candidata para describir la naturaleza dinámica, orgánica y genética proclamada en la *Natürphilosophie*. Así que la “doctrina del movimiento” citada no se refiere a la mecánica, sino a la introducción del movimiento en la geometría con el propósito de darle una forma genética. Esta era la forma apropiada para aplicarla en la enseñanza.

[...] dejando gradualmente que el tema aparezca ante los ojos del discípulo convirtiéndolo en un testigo, por así decir, de la creación de la idea [...] Recuerdo aún con mucha nitidez la alegría que embargaba todo mi espíritu cuando vi por primera vez un teorema geométrico demostrado<sup>59</sup>.

Tenemos un simple ejemplo de este enfoque cuando Ørsted imagina una línea creada por un punto en movimiento: “o sea, que se mueve de una parte a otra del espacio, con continuidad, y consideramos la línea generada a partir de los puntos”<sup>60</sup>. De modo similar un ángulo aparecería cuando una línea, que yace sobre otra línea, comienza a moverse alrededor de uno de sus extremos; un círculo, o una *línea circular*, como la llamaba Ørsted, salía del extremo de una línea al girar sobre su otro extremo<sup>61</sup>.

Ørsted se proponía someter sus ideas geométricas “al juicio de los exper -

<sup>56</sup> Ørsted, 1811 (1998), p. 297.

<sup>57</sup> Ørsted, 1807-08, “Geometrie,” p. 9.

<sup>58</sup> Ørsted a Oehlenschläger, 1807, en Ørsted, M., vol. 1, pp. 232-233.

<sup>59</sup> Ørsted, 1807-08, “Geometrie,” p. 16, ver también pp. 6-8.

<sup>60</sup> Ørsted, 1807-08, “Mathematik,” p. 4, “Geometrie,” pp. 10-15.

<sup>61</sup> *Ibid.*, “Mathematik,” pp. 7-8.

tos”, aunque si finalmente eso ocurrió no está claro. Puede haber estado en la agenda del “*gran té matemático*” que aparentemente tuvo lugar en 1812, con la presencia entre otros de Christopher Hansteen y los matemáticos daneses August Kreidahl, R.G. F. Thune y uno de los Krumm<sup>62</sup>. En todo caso, los “expertos” pueden haberlas revisado de modo desfavorable y esa sería la razón de que Ørsted liquidara ese proyecto antes de publicarlo. Hansteen, por ejemplo, conocía bien las ideas de Ørsted sobre la introducción del “movimiento” en geometría y producir, por ejemplo, el paralelogramo mediante el movimiento de una línea recta con un ángulo constante respecto a otra línea. Hansteen adoptó un enfoque semejante en un libro de texto sobre geometría de 1835<sup>63</sup>. El astrónomo danés, Thomas Bugge, comentó críticamente el nuevo procedimiento geométrico de Ørsted: “*Es cierto que se escucha a algunas cabezas jóvenes y calenturientas hablar sobre nuevos métodos, nuevas perspectivas, nuevos enfoques sobre las matemáticas,*” pero Bugge rechazó sin más tales perspectivas<sup>64</sup>. Según él, la geometría siempre seguiría siendo euclídea<sup>65</sup>.

Además de buscar la unificación de las ciencias, incluida la geometría, mediante la introducción de los elementos ya mencionados en la geometría y en su presentación, el proyecto de geometría de Ørsted tenía un propósito adicional. A lo largo de su vida Ørsted se debatió con las implicaciones de su visión dinámica del mundo, a la vez que encontraba una confirmación de ella en el sistema atomista. Trabajó experimentalmente sobre el tema y sus esfuerzos sobre la compresión de gases y líquidos, por ejemplo, deben verse a la luz de ese trasfondo<sup>66</sup>. Mientras tanto intentaba encontrar una confirmación mediante pruebas matemáticas, o mejor, geométricas, lo cual probablemente le llevó a los *Fundamentos Metafísicos* de Kant. Mediante argumentos geométricos Ørsted intentaba hallar confirmación de la posibilidad de la divisibilidad infinita de los cuerpos. Según él “[...] *la parte infinitesimal de algo es [...] algo de un tipo diferente*”<sup>67</sup>. Esto se ejemplifica en el hecho de que la parte infinitesimal de un cubo sería un cuadrado. Además “[...] *cuando se divide un cuerpo en infinitas partes éstas no pueden ser cuerpos sino lo que constituye los cuerpos, las acciones de Schelling*”<sup>68</sup>. Por tanto “[...] *se ve por lo que he presentado aquí que la reflexión matemática conduce al sistema dinámico*”<sup>69</sup>. ¡Aparentemente Ørsted estaba buscando

<sup>62</sup> Hansteen a Ørsted, 1814, en Harding, 1920, vol. 1, p. 106.

<sup>63</sup> Piene, 1937, pp. 63-65, correspondencia Ørsted-Hansteen, 1836, en Harding 1920, vol. 1, pp. 164-166.

<sup>64</sup> Hansteen se había enterado de la observación de Bugge. “*Colijo que es también a tí a quien se refiere con lo de jóvenes cabezas calenturientas con nuevos enfoques sobre una temática, etc. A ese viejo bribón venenoso le gustaría darte un empujón si pudiera*” (Hansteen a Ørsted, 1815).

<sup>65</sup> Bugge, 1814, vol. 2, p. vi.

<sup>66</sup> Kundsén, en prensa.

<sup>67</sup> Ørsted, 1807-08, “Mathematik,” p. 1.

<sup>68</sup> *ibid.*, p. 3, ver también *ibid.*, “Die Geometrie,” p. 8.

<sup>69</sup> Ørsted, 1807-08, “Mathematik,” p. 4.

una confirmación decisiva del sistema dinámico mediante una prueba matemática o geométrica! Lo cual es algo peculiar ya que él había puesto de relieve el peligro de tomar las matemáticas como punto de partida y que ello podía llevar a una concepción errónea de la naturaleza.

Finalmente, también estaba claro que la geometría era parte de la “ciencia de la belleza” [det Skjønnnes Naturlære] de Ørsted, porque las leyes que producen formas matemáticas bellas eran aquellas más fácilmente concebibles, y por ende, las más *anschaulich*. Aunque Ørsted sostuvo que había una gran belleza en la práctica experimental reconoció claramente la belleza de las figuras geométricas<sup>70</sup>. La simetría implicaba belleza, las líneas y figuras expresaban ideas. Esta sensación no era generada por el pensamiento mismo, sino por su combinación con la intuición inmediata [umiddelbare Opfatning], esto es, *Anschauung*. Por el contrario, lo feo y lo deforme se debía a la falta de percepción intuitiva<sup>71</sup>. La idea de una cosa era la unidad del pensamiento en ella expresada, concebida por la razón, pero como *Anschauung* del espíritu. La belleza era, pues, la idea expresada en la cosa en cuanto se presentaba ante nuestra *Anschauung*. Simétricamente la armonía interna de la idea se presentaba ante nosotros de modo inmediato<sup>72</sup>.

## 7. Matemáticas de la química y números químicos

A principios del siglo XIX no se puede hablar de matematización de la química en términos de un modelo matemático general. Sin embargo, la cuantificación química era cada vez más importante, especialmente después de los trabajos cuantitativos de Lavoisier en relación con la balanza y su énfasis en el principio de conservación de la masa. Otro detalle cuantitativo fue el descubrimiento de las leyes de las proporciones químicas. Guerlac calificó a estas leyes y a la noción de pesos elementales como “*los conceptos cuantitativos más fundamentales de la química*”<sup>73</sup>.

No obstante, la fuerte influencia del programa de la *Natürphilosophie* en la ciencia dinámica de Ørsted derivó en una visión cualitativa de los fenómenos químicos que ponía más énfasis en la reactividad que en la composición de las sustancias químicas. Mientras elaboraba su sistema dinámico durante el periodo 1804-14, Ørsted llegó a pensar que ciertos fenómenos químicos no podrían ser nunca explicados cuantitativamente<sup>74</sup>. En particular, Ørsted pensó que el contenido de “electricidad” en el oxígeno, los áci-

<sup>70</sup> O, 1843 (1851), p. 155.

<sup>71</sup> Lynning, 2001, p. 23.

<sup>72</sup> Ørsted, 1843 (1851).

<sup>73</sup> Guerlac, 1961.

<sup>74</sup> Jacobsen, 2000, pp. 138 ss.

dos y los álcalis, podían afectar las determinaciones cuantitativas de estas sustancias en maneras desconocidas. Así:

El gas oxígeno debe irrefutablemente una parte esencial de sus propiedades a la electricidad, de manera que debemos suponer que tiene una carga eléctrica [...] Si la electricidad juega un importante papel en el oxígeno, debe admitirse que un ligero cambio en su carga (bound electricity) puede cambiar suficientemente la fuerza con la que actúa, de forma que todas nuestras medidas cuantitativas del oxígeno sean inútiles<sup>75</sup>.

Esta visión se ve también reflejada en sus lecciones. En 1810-11, por ejemplo, dio un curso de “Química y cambios internos que no pueden ser explicados por el peso”<sup>76</sup>. Aunque no podemos decir con exactitud el contenido de estas lecciones, el título implica ya claramente un rechazo del principio cuantitativo de la conservación de la masa, que Lavoisier había sabido usar con tanto éxito en química. Probablemente debamos recurrir a Schelling (y quizás a Ritter) para seguir la pista a esta idea sobre el papel de la electricidad en las sustancias químicas, incluso si ello no nos ayuda mucho a entenderlo. Según Schelling:

*Toda cualidad es electricidad, y recíprocamente, la electricidad de un cuerpo es también su cualidad, (porque toda diferencia de cualidad es similar a una diferencia de electricidad, y toda cualidad [química] es reducible a electricidad)*<sup>77</sup>.

Schelling sostenía que “la atracción (química) *entre las partes* debe ser llamada *cualitativa*, porque parece depender de las cualidades de los cuerpos”. Era contraria a la fuerza de atracción universal que “es siempre proporcional a la *cantidad* de materia” y por tanto cuantitativa<sup>78</sup>. Schelling definía *cualidad* como *acción mediante la cual no se obtiene masa como producto*, lo cual también es contrario a la fuerza de atracción universal que podía “ser medida por la relación entre la cantidad de materia y su velocidad”<sup>79</sup>. Probablemente debido a que la teoría química no estaba aún madura para una completa descripción matemática, Schelling sugería además que:

No se puede tener la esperanza de penetrar en esta acción para determinar la cantidad (el grado) de dicha acción mediante fórmulas matemáticas, por ejemplo, [...] Nuestro conocimiento no puede lograr eso sobre el otro aspecto de los productos, y para la cantidad de acción no hay otra expresión que el producto mismo (Schelling, 1799 (1965), p. 24).

<sup>75</sup> Ørsted, 1805 (1998), p. 176.

<sup>76</sup> Engelstoft, 1810.

<sup>77</sup> Schelling, 1799 (1867), p. 205.

<sup>78</sup> Schelling, 1797 (1988), p. 149.

<sup>79</sup> Schelling, 1799 (1965), p. 24, 1797 (1988), p. 266.

Con el tiempo, Ørsted se “recuperó” de esta peculiar idea, aunque aún se adheriese al concepto de acción. Al principio, en 1811, cuando supo de la ley empírica de proporciones múltiples de Berzelius, Ørsted comprendió y reconoció su importancia como un primer paso hacia la matematización de la química, que llamó *matemáticas de la química*<sup>80</sup>. Parece que quedó muy impresionado por la habilidad de Berzelius para hacer cálculos precisos y, aparentemente, correctas predicciones de posibles combinaciones químicas mediante esas leyes<sup>81</sup>. Sin embargo, Ørsted no podía aceptar la visión del mundo atomista usualmente asociada con las leyes. ¿Pues cómo podían ser compatibles las leyes de combinación de las proporciones con el sistema dinámico de Ørsted en el que la materia consistía en fuerza? O más bien, ¿cómo podía ser compatible la teoría de la materia de Ørsted con estas leyes empíricas de la química que sugerían relaciones básicas entre unidades específicas de materia? Esto era un desafío para Ørsted. De hecho, mantuvo que la materia consistía en fuerza y no en átomos indivisibles y físicos, aunque aceptó la existencia de ciertas pequeñas entidades, paquetes-fuerza o paquetes de actividad, a los que llamó *constituyentes fundamentales*. De esta manera, alteró los fundamentos metafísicos de su sistema químico y aceptó que la materia fuese discreta, porque quería implementar las *matemáticas de la química* en su propio sistema dinámico. Aunque continuaba declarándose no atomista, ya que mantenía la indivisibilidad de la materia.

También reconoció la importancia de los pesos atómicos introducidos por John Dalton, aunque no creyese que dichos números correspondiesen a lo que su nombre indicaba, esto es, *pesos atómicos* como tales. Más bien sugería que de alguna forma ellos revelaban relaciones numéricas entre las fuerzas químicas de las sustancias y los llamó *números químicos*<sup>82</sup>. Así, Ørsted, interpretaba estos números conforme a su propia visión dinámica.

## 8. El fracaso de la matematización del sistema dinámico

Una de las características del sistema *químico-dinámico* de Ørsted era la de estar fundado en pocos primeros principios, que Ørsted pretendía haber deducido empíricamente del inmenso mar de datos químicos disponibles<sup>83</sup>, principios a los cuales cualquier fenómeno químico podría referirse.

Se pensaba que podían aplicarse a un amplio rango de fenómenos dinámicos, fuesen de naturaleza ácida, alcalinos, eléctricos o magnéticos, basados en analogías entre fenómenos que se creía que constituían una unidad.

---

<sup>80</sup> Jacobsen, 2000, p. 213 ss.

<sup>81</sup> *ibid.*, pp. 142 ss., p. 217.

<sup>82</sup> Jacobsen, 2000, p. 180.

<sup>83</sup> Ørsted, 1812 (1998), p. 311.

Así, se pensaba el marco, la estructura deductiva del sistema dinámico de manera similar a la de la mecánica de Newton, que Ørsted admiraba por la misma razón. Como todos, Ørsted aceptaba la leyenda sobre la mecánica newtoniana y sus principios, capaces de resolver todos los problemas dinámicos<sup>84</sup>. Más aun, a pesar de que el sistema dinámico de Ørsted era ajeno a cualquier representación o reflexión matemática, con frecuencia él expresaba la esperanza de que su sistema adquiriría una descripción matemática similar a la de mecánica de Newton:

A través de la reducción de todos los tipos de movimiento a sus leyes fundamentales la mecánica alcanza tal perfección que abarca todo movimiento en el universo, contemplado éste como un gran problema mecánico, y que por tanto permite calcular un sinnúmero de problemas sin esperar a evidencia empírica. A través de la reducción de todos los efectos químicos a las fuerzas primigenias de las que provienen, podemos intentar preparar a la química para una perfección semejante. Seremos entonces capaces de deducir todas las propiedades químicas de las fuerzas primeras y de sus leyes, y como a cualquier sustancia, directa o indirectamente, se la reconoce y distingue de las otras únicamente por esas propiedades, seremos entonces capaces de calcular todas las sustancias posibles a partir de ellas, al igual que todos los movimientos posibles pueden ser calculados a partir de las leyes de la mecánica. La química será entonces una teoría de fuerzas a la que estará íntimamente ligada las matemáticas, que determinará las proporciones, direcciones y modos de acción de esas fuerzas, y una nueva rama de las matemáticas evolucionará al igual que el cálculo de fluxiones lo hizo en relación con la teoría del movimiento<sup>85</sup>.

Aquí, Ørsted previó que el nuevo campo de la química dinámica y sus fenómenos relacionados se convertiría pronto en un campo abonado para la matemática aplicada y que debería inventarse una nueva matemática para dar cuenta de los fenómenos en cuestión.

Sin embargo, cuando esa nueva y fructífera herramienta matemática, las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, fue empleada, por ejemplo, por Joseph Fourier en la ecuación del calor<sup>86</sup>, Ørsted no se enteró o no mostró ningún interés por esa ecuación y por el tipo de descripción que proporcionaba. Y esto a pesar de que Henrik Gerner von Schmidten, protegido de Ørsted y posteriormente profesor de matemáticas en la Universidad de Copenhague, le informase epistolarmente de la ecuación de Fourier y de la conmoción que había suscitado en París en 1822<sup>87</sup> Ørsted se encontró con Fourier en varias ocasiones a lo largo de 1823, pero no llegaron nunca a discutir sobre la ecuación del calor; sólo hablaron de electromagnetismo<sup>88</sup>.

<sup>84</sup> Pulte, 2001, p. 64.

<sup>85</sup> Ørsted, 1812 (1998), p. 311. Ver también (Ørsted, 1811 (1998), p. 296).

<sup>86</sup> En 1807, pero no conocido por el público hasta 1822, ver Dhombres en este volumen, Herivel, 1975, p. 217.

<sup>87</sup> Ørsted, M., 1870, vol. 2, p. 23.

<sup>88</sup> *Ibid*, pp. 65-66.

El formalismo matemático de las fuerzas químico-eléctricas de Ørsted no se realizó nunca, aunque von Schmidten pensara en ello. Von Schmidten estaba muy interesado en el tema de la aplicación de las matemáticas a las Ciencias y durante su estancia en París en 1820-24, empleó algún tiempo en investigar cuáles de las ramas de la filosofía natural eran más apropiadas para adquirir un fundamento matemático<sup>89</sup>. Parece que él y Ørsted discutieron la posibilidad de matematización del sistema dinámico de Ørsted y en 1820 escribió a éste sus conclusiones sobre el tema:

Pienso que si se quiere dar a la acción química una teoría matemática, que después de todo es el necesario y último paso para la perfección en la ciencia, se debe asumir la llamada teoría atomista, pero sólo en la manera en que las diferenciales son consideradas en el cálculo diferencial, esto es, sin atribuirles ningún valor fijo y considerando únicamente sus interrelaciones<sup>90</sup>.

y de nuevo en marzo de 1822:

[...] sin duda es más fácil calcular matemáticamente el movimiento de las moléculas que las oscilaciones de un fluido (Fluidum), o lo que es más apropiado y filosófico, pero desgraciadamente más difícil, la teoría que usted propone<sup>91</sup>.

## 9. Observaciones finales y conclusiones

El estilo y los trabajos científicos de Ørsted fueron, en general, rápidamente aceptados en Alemania –y no sólo entre los románticos– donde no se consideraba esencial la vía matemática para el estudio de la filosofía natural, como Caneva ha documentado bien<sup>92</sup>. A comienzos del siglo XIX existían en Alemania serias reservas sobre la aplicación de las matemáticas a la filosofía natural. Según Caneva, era comúnmente aceptado que la comprensión de la “física” real era esencialmente cualitativa y que la ciencia laplaciana con frecuencia dificultaba el conocimiento de los verdaderos principios naturales. El éxito de las teorías se medía por su contenido “físico” y consiguientemente los experimentos eran esencialmente cualitativos porque ¡obviamente los datos numéricos eran de poco uso en una teoría no-cuantitativa!<sup>93</sup>

---

<sup>89</sup> Von Schmidten a Ørsted, Septiembre 1820, Ørsted, M., 1870, pp.9-10. Por lo demás, von Schmidten se inspiró claramente en la visión romántica del mundo de Ørsted y quiso integrar las matemáticas en él (ver Schmidten, 1827).

<sup>90</sup> Von Schmidten a Ørsted, Septiembre 1820, *ibid.*, pp. 9-10.

<sup>91</sup> Von Schmidten a Ørsted, Marzo 1822, *ibid.*, pp. 9-10.

<sup>92</sup> Caneva, 1975, p. 27.

<sup>93</sup> Caneva, 1975.

Claramente, Ørsted debe ser contemplado no sólo en el trasfondo de esta tradición, sino también en la del Romanticismo y la *Natürphilosophie*, en las que las recién citadas características tenían gran importancia. No obstante, cuando Ørsted desestimaba la descripción matemática, no era simplemente porque en general la considerase deficiente en relación con la *Anschaung* o que no fuese *nunca* capaz de aprehender la verdadera estructura física de la realidad. Sucedió con frecuencia, según Ørsted, que la representación matemática no respetaba la verdadera naturaleza de la filosofía natural, como por ejemplo, en el caso del electromagnetismo de Ampère. Aún así, Ørsted demandaba la creación de una nueva matemática que sirviese de modelo para el sistema dinámico. El problema con las técnicas matemáticas existentes en ese momento era que servían para la visión atomista del mundo y no para la dinámica; las matemáticas no facilitaban las interpretaciones en términos de fuerzas activas, como señalaba von Schmidten en sus cartas desde París, aunque sí permitía asociaciones con la filosofía natural atomista. Esta era una parte importante de los motivos de la reserva que Ørsted tenía hacia la representación matemática.

¿Pero cómo debería ser una descripción matemática del sistema dinámico? En su relación con las matemáticas, Ørsted, por influencia de la *Natürphilosophie*, exigía unas matemáticas –que deberían aún inventarse– que diesen cuenta de lo orgánico, que interpretaran la naturaleza dinámicamente en contraste con la “muerta” naturaleza atomista de la física de Laplace. Las matemáticas que se emplearan en el sistema dinámico, deberían tener ellas mismas un carácter dinámico. En otras palabras, según Ørsted, reflejar una naturaleza genética exigía mostrar una génesis interna. El camino era introducir el movimiento en la Geometría, por ejemplo.

Esto también nos ayuda a entender que con respecto a la descripción matemática, la ambiciosa investigación y la agenda de enseñanza de Ørsted, así como su proyecto de unificación de las ciencias, no implicaran lo mismo para la química o el sistema dinámico que para el estudio y enseñanza de la mecánica. En química, el objetivo era dotarla de una teoría deductiva, racional, esto es, una teoría basada en pocos principios fundamentales, a partir de los cuales el resto de la ciencia pudiese ser deducida y todos los fenómenos químicos descritos. En parte, las razones de la clara naturaleza cualitativa de los argumentos de Ørsted y de sus experimentos con relación al sistema dinámico se deben, probablemente, a que carecía de sentido el realizar experimentos cuantitativos en una teoría puramente cualitativa. Aunque el hecho de que Ørsted no consiguiese una descripción matemática satisfactoria no excluía el que se consiguiese una vez que la teoría madurase y que otros útiles matemáticos se desarrollasen. La Química adquirió un cierto status cuantitativo en esos momentos, y aunque Ørsted claramente lo reconociese, tuvo dificultad para desarrollar este aspecto en su propia teoría *químico-dinámica*<sup>94</sup>.

<sup>94</sup> Jacobsen, 2000.

Por otra parte, Ørsted pensaba que en la mecánica, la parte matemática de la filosofía natural, era posible evitar la rigidez de las demostraciones sintéticas euclidianas y presentarla conceptualmente seguida de “experimentos mentales” y “experimentos materiales”. Además, quería que la ya existente descripción matemática de la mecánica fuese cierta de “forma natural” para la ciencia, esto es, guiar la *Anschauung* en forma de fuerzas activas. El siguiente paso en el proyecto de unificación era hacer algo similar en geometría. Ørsted sugería una nueva geometría expuesta genéticamente de acuerdo con su idea de presentar las cosas en su embrión y porque así, esta rama de la matemática procuraría *Anschaulichkeit*. En la práctica esto significaba introducir el movimiento en la geometría y una presentación con experimentos mentales.

En cuanto a la necesidad de un nuevo tipo de matemáticas para la descripción de la luz, del calor y otros fenómenos dinámicos, Ørsted tenía razón, pero nunca llegó a percibir su emergencia, alrededor de 1820, en términos de ecuaciones diferenciales con derivadas parciales, que comenzó con la ecuación del calor de Fourier.

## Agradecimientos

Estoy profundamente en deuda con Henrik Kragh Sørensen por sus comentarios sobre las ideas de este artículo. Quiero agradecer también a Friedrich Steinle y Ole Knudsen por la revisión crítica de una versión anterior. Esta investigación y la transcripción de los manuscritos geométricos de Ørsted realizada por Kate Larsen, han sido posibles gracias a la colaboración del Proyecto de Historia de la Ciencia Danesa.

## Referencias bibliográficas

- Ampère, André-Marie, y Babinet, Jacques, *Darstellung der neuen Entdeckungen über die Electricität und den Magnetismus von Oerstedt, Arago, Ampère, H. Davy, Biot, Erman, Schweigger, de la Rive u.s.w.*, Leopold Voss, Leipzig 1822.
- Billeskov Jansen, F. J., “Hans Christian Ørsted,” en Billeskov Jansen, F. J., Snorrason, Egill, and Lauritz-Jensen, Chr., eds., *Hans Christian Ørsted*, IFV-energi i/s (Isefjordværket) 1987, pp. 7–54.
- Bugge, Thomas, *De første Grunde til den rene eller abstrakte Mathematik*, 2ª ed., 3 vols., Kiøbenhavn: Simon Poulsen, 1813–14.
- Caneva, Kenneth L., *Conceptual and Generational Change in German Physics: the Case of Electricity, 1800–1846*, Dissertation, Princeton University, Ann Arbor & University Microfilms International, London 1975.
- Caneva, Kenneth L., *Robert Mayer and the Conservation of Energy*, Princeton University Press, Princeton 1993.

- Caneva, Kenneth L., "Physics and *Natürphilosophie*: A reconnaissance," *History of Science*, 35. (1997).
- Dhombres, Jean, "Science is young, science is a positive but nostalgic adventure among the ruins of the old worlds. Romantic motivation for some European scientists at the beginning of the nineteenth century".
- Gower, Barry, "Speculation in Physics: The History and Practice of *aturphilosophie*," *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 3(4), (1973), 301-56.
- Guerlac, Henry, "Quantification in Chemistry," *Isis*, 52, (1961), 194-214.
- Harding, M. C., ed., *Correspondance de H. C. Ørsted avec divers Savants*, 2 vols., Aschehoug, Copenhagen 1920.
- Heilbron, John L., *Weighing Imponderables and Other Quantitative Science Around 1800*, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, Suplemento al Vol. 24, Part 1, University of California Press, Berkeley 1993.
- En este volumen: "Physical scientists at Göttingen in the 1790s,"
- Herivel, John, *Joseph Fourier. The Man and the Physicist*, Clarendon Press, Oxford 1975.
- Jacobsen, Anja Skaar, *Between Naturphilosophie and Tradition: Hans Christian Ørsted's Dynamical Chemistry*, PhD thesis, University of Aarhus, 2000.
- Jelved, Karen, Jackson, Andrew D., and Knudsen, Ole, eds. *Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted*, Princeton University Press, Princeton 1998.
- Kant, Immanuel, *Metaphysical Foundations of Natural Science*, Ellington, James W., ed., *Philosophy of Material Nature*, Hackett Publishing Company, Indianapolis 1786(1985). Originalmente publicado en alemán.
- Knudsen, Ole, "Atomism versus dynamism: Ørsted's work on the compressibility of water and gases," manuscrito en preparación.
- Lynning, Kristine, *Lys og Liv. En Studie af H. C. Ørsteds teori om det Skønne med Lyset som ledetråd og gennemgående eksempel*, Bachelor Thesis, History of Science Department, University of Aarhus, 2001.
- Meyer, Kirstine, "H.C. Ørsted's Varied Activities in the Danish Community," en (Meyer, ed., 1920, vol. III, pp. ix-clxvi), 1920.
- Meyer, Kirstine, "The Scientific Life and Works of H. C. Ørsted," en (Meyer, ed., 1920, vol. I, pp. xi-clxvi), 1920a.
- Meyer, Kirstine, ed., *H. C. Ørsted: Scientific Papers*, 3 vols., Copenhagen: Høst & Søn., 1920.
- Nielsen, Keld, "Another kind of light: The work of T. J. Seebeck and his collaboration with Goethe. Part I," *HSPBS*, 20 (1989) pp. 107-178.
- Ørsted, Hans Christian, "[Review of] *De første Grunde af den rene Mathematik.—Forsøg til en Lærebog for Skoler*, ved Hans Christian Linderup, Overlærer i Mathematiken etc. ved Frue lærde Skole. Første Deel. Kiøbenhavn, 1799. Forlagt af Johan Frederik Schulz," *Kjøbenhavnske lærde Efterretninger*, N<sup>o</sup> 21, (1799) pp. 334-336, N<sup>o</sup> 22, pp. 337-344.
- Ørsted, Hans Christian, "Recension over Saxtorphs Electricitetslære," en (Meyer, ed., 1920, vol. III, pp. 79-96). Originalmente publicado en *Kjøbenhavnske lærde Efterretninger*, 1805 N<sup>o</sup> 26, pp. 401-15, N<sup>o</sup> 27, pp. 419-425 y 1806, N<sup>o</sup> 1, 14-16.
- Ørsted, Hans Christian, "Criticism of the So-Called Eudiometry with regard to Medicine," en (Jelved *et al*, 1998, pp. 170-179). Originalmente publicado en danés en *Nyt Bibliothek for Physik, Medicin og Oeconomie*, 8 (1805) pp. 52-79. También se puede encontrar en alemán en *Neues allgemeine Journal der Chemie*, 5: pp. 365-92, (Meyer, ed., 1920, vol. I, pp. 248-61).

- Ørsted, Hans Christian, manuscritos “Geometrie,” “Mathematik,” y “Die Geometrie,” en el conjunto *Geometri*, Ørsted 28 Fol., The Royal Library, Copenhagen 1807–1808.
- Ørsted, Hans Christian: *Videnskaben om Naturens almindelige Love I*, Brummer, Kjøbenhavn 1809.
- Ørsted, Hans Christian, *First Introduction to General Physics*, en (Jelved *et al*, 1998, pp. 282–309). Originalmente publicado en danés (Copenhague 1811, impreso por Schulz). Vuelto a publicar (Meyer, ed., 1920, vol. III, pp. 151–90). Las 19 primeras secciones del tratado se encuentran en *Journal für Chemie und Physik*, 36 de Schweigger (1822), pp. 458–88.
- Ørsted, Hans Christian, “View of the Chemical Laws of Nature Obtained Through Recent Discoveries,” en (Jelved *et al*, 1998, pp. 310–392). Originalmente publicado en alemán *Ansicht der chemischen Naturgesetze durch der neueren Entdeckungen gewonnen* (Realschulbuchhandlung, Berlin 1812). Vuelto a publicar en (Meyer, ed., 1920, vol. II, pp. 35–169).
- Ørsted, Hans Christian, *Videnskaben om Naturens almindelige Love I* [?], sin portada, 1816.
- Ørsted, Hans Christian, “Om Haarrørene. Om et nyt æsk i peberen. Beretning om den anden undersøgelsesrejse til Bornholm,” *Videnskabernes Selskabs Oversigter*, (1819–20) pp. 12–16. (Meyer, ed., 1920, vol. II, pp. 444–446).
- Ørsted, Hans Christian, “Note on the Discovery of Electromagnetism,” (Jelved *et al*, 1998, pp. 425–429). Originalmente publicado en danés *Videnskabernes Selskabs Oversigter*, 1820–21, pp. 12–21 (Meyer, ed., 1920, vol. II, pp. 447–53).
- Ørsted, Hans Christian, “Thermo-Electricity,” (Jelved *et al*, 1998, pp. 542–580). Originalmente publicado en *The Edinburgh Encyclopædia*, Brewster, David, ed., LL.D., vol. 18, Edinburgh 1830, pp. 573–89. (Meyer, ed., 1920, vol. II, pp. 351–98).
- Ørsted, Hans Christian, “[Ü]ber die Verschiedenheit des physicalischen Vortrages von dem mathematischen, auch wenn beyde dieselben Wahrheiten darstellen,” gehalten in der öffentlichen Sitzung bei der 9. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Hamburg am 20. September 1830, *Isis von Oken*, 24 (8), August, 1831, cols. 854–857. No parece ser el texto exacto del discurso, pero es una paráfrasis fiel del mismo.
- Ørsted, Hans Christian, “Over Jerichaus Barometer,” *Tidsskrift for litteratur og kritik*, 2 (1839) pp. 55–61. (Meyer, ed., 1920, vol. II, pp. 367–71).
- Ørsted, Hans Christian, “To Capitler af det Skjønnes Naturlære,” en *Samlede og efterladte Skrifter*, vol. 3, 1843. Høst, Kjøbenhavn (1851) pp. 155–206.
- Ørsted, Hans Christian, *Fædrelandet*, N<sup>o</sup> 180 (1847) cols. 1435–1439.
- Ørsted, Hans Christian, “Strøtanker,” in *Samlede og efterladte Skrifter*, vol. 9, Høst, Kjøbenhavn 1852, pp. 103–105.
- Ørsted, Hans Christian, *Naturlærers mekaniske Deel*, 2<sup>a</sup> ed., C. Holten, ed., Reitzel, Kjøbenhavn 1854.
- Ørsted, Mathilde, ed., *Breve fra og til Hans Christian Ørsted*, 2 vols., Lind, Kjøbenhavn 1870.
- Pedersen, Olaf, “Det længere perspektiv,” en Billeskov Jansen, F. J., Snorrason, Egill, y Lauritz-Jensen, Chr., eds., *Hans Christian Ørsted*, IFV-energi i/s (Isefjordværket), 1987, pp. 142–166.
- Pedersen, Olaf, “Newton versus Ørsted: The Delayed Introduction of Newtonian Physics into Denmark,” en Coyne, G. V., Heller, S. J. M., y \_yci\_ski, eds.: *New*

- ton and the New Direction in Science*, Actas del Congreso de Cracovia, May 25–28 1987, Specola Vaticana, 1988.
- Piense, Kay, “Matematikkens stilling i den høiere skole i Norge efter 1800” *Norsk Matematisk Tidsskrift*, 19 (1937), pp. 52–68.
- Pulte, Helmut, “Gedankenexperimente in der neueren Wissenschaftstheorie: Über Ihre Funktion und Ihren Gebrauch in Hinblick auf Erfahrungswissenschaftliche Theorien,” Próxima aparición en *Journal for General Philosophy of Science/Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*.
- Pulte, Helmut, “Order of Nature and Orders of Science. On the Mathematical Philosophy of Nature and its Changing Concepts of Science from Newton and Euler to Lagrange and Kant,” en W. Lefevre, ed., *Between Leibniz, Newton, and Kant*, Kluwer Academic Publishers, the Netherlands 2001, pp. 61–92.
- Pulte, Helmut, “Beyond the Edge of Certainty: Reflections on the Rise of Physical Conventionalism,” *Philosophia Scientiae*, 4(1) (2000) pp. 47–68.
- Pulte, Helmut, “Zum Niedergang des Euklidianismus in der Mechanik des 19. Jahrhunderts,” *XVI. Deutscher Kongress für Philosophie. Neue Realitäten Herausforderung der Philosophie*, Allgemeine Geschellschaft für Philosophie in Deutschland, Berlin 1993, pp. 833–40.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph von, *Ideas for a Philosophy of Nature*, Trad. Errol E. Harris y Peter Heath, Cambridge University Press, Cambridge 1988 (=1797/1803).
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph von, “Introduction to the Outlines of a System of Natural Philosophy,” *The Journal of Speculative Philosophy*, 1(4) (1867), pp. 193–220. Tr. by T. Davidson. Originalmente publicado en alemán en 1799: *Einleitung zu dem Entwurf eines Systems der Naturphilosophie. Oder über den Begriff der Speculativen Physik und die innere Organisation eines Systems dieser Wissenschaft*, en Schröter, M., ed., *Schelling's Werke*, 2<sup>a</sup> ed., vol. 2, Beck, München 1965, pp. 269–326.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph von, “Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie,” en Schröter, M., ed., *Schellings Werke*, 2<sup>a</sup> ed., vol. 2, Beck, München 1965 (=1799), pp. 1–268.
- Schmidten, Henrik Gerner von, *Kort Fremstilling af Matematikens Væsen og Forhold til andre Videnskaber*, Schultz, Kjøbenhavn 1827.
- Stauffer, R. C., “Speculation and Experiment in the Background of Oersted's Discovery of Electromagnetism,” *ISIS*, 48, (1957), pp. 33–50.
- Toftlund Nielsen, Hans, “H. C. Ørsted's “Chemie”,” *Dansk Kemi*, 81(3) (2000), pp. 27–30.
- Williams, L. Pearce, “Kant, *Naturphilosophie* and Scientific Method,” en *Foundations of Scientific Method: The Nineteenth Century*, Giere, Ronald N., y Westfall, Richard S., eds., Indiana University Press, Bloomington and London 1973.