

LA INTRODUCCION DE LA OPTICA ONDULATORIA: LA EXPLICACION FRESNELIANA DE LA DIFRACCION

Juan José Saldaña G.

Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

y

Area de Lógica y Filosofía de la Ciencia. UAM-Iztapalapa

RESUMEN

Este trabajo se refiere al contexto histórico y científico en que se introdujo la óptica ondulatoria en Francia a principios del siglo XIX. Se analiza, en particular, el momento político y científico en el que emergió la explicación ondulatoria del fenómeno de la difracción y la oposición que encontró la teoría ondulatoria entre los partidarios de la "théorie de l'emission". Se intenta mostrar la pertinencia metodológica de la historia social de las ciencias en la explicación histórica de éstas.

ABSTRACT

This paper is concerned with the historical and scientific context in which the waves theory of light was introduced in the early 19th century in France. In particular, the political and scientific activity is analyzed to understand the emergence of Fresnel's ondulatory explanation of diffraction phenomena. The opposition of the partisans of the "théorie de l'emission" is analyzed too. The aim of this paper is to show the methodological relevance of the social history of science, in the historical explanation of science.

En la carta que me enviaron los organizadores invitándome a que hiciera esta conferencia, se me sugería que abordara en ella "algún aspecto filosófico o histórico de la ciencia". He aceptado con sumo agrado tanto la invitación como la sugerencia, ya que dicho tema forma parte de mis ocupaciones profesionales, pero, sobre todo, porque atribuyo la mayor importancia a que los científicos activos como ustedes, consideren de su interés escuchar una charla sobre filosofía e historia de la física. No me detendré en las razones por las que me resulta tan atrayente abordar ante ustedes el tema que he anunciado, ni sobre la importancia de los estudios históricos y filosóficos de las ciencias para los dos temas de este Congreso: la enseñanza de las ciencias y la investigación científica. Sin embargo, para nadie constituye un secreto que estos estudios epistemológicos e históricos han sido desatendidos, e incluso desvalorados. Ello, desde luego, tiene causas precisas de naturaleza teórica e histórica que deberemos cuestionar. Como quiera que sea, lo cierto es que en nuestro medio acusamos un retraso considerable en tales estudios y que necesitamos subsanarlo. En tal sentido, resulta alentador que la Revista Mexicana de Física incluya como sección permanente de su política editorial, una sección dedicada a este tipo de estudios sobre las ciencias. Esperemos que en el futuro nuevos pasos sean dados, contando con la colaboración tanto de científicos como de filósofos e historiadores de las ciencias. Igualmente, esperemos que la historia y la situación peculiares de las ciencias en nuestro país, recibirán la atención necesaria.

En esta ocasión voy a presentarles algunos aspectos de la "revolución" ondulatoria en la ciencia de la óptica a principios del siglo XIX. Ella consistió en la introducción de una explicación ondulatoria de los fenómenos ópticos por oposición a la explicación corpuscular dominante hasta entonces. Este caso es, por varias razones, un caso ejemplar: se trata de un episodio típico de enfrentamiento entre dos teorías científicas, ambas con sólidas bases, pero cuya rivalidad y resolución estuvo determinada tanto por factores externos como internos. Al "impasse" teórico del punto de vista corpuscular (aunque próspero en los años que precedieron su derrocamiento)⁽¹⁾, siguió un nuevo impulso para

la óptica y para las ciencias físicas. Mediante la crítica hecha a la antigua teoría y al programa de investigación que se derivaba de ella, se llegó a establecer una nueva tradición de investigación. Esta tuvo su inicio con los trabajos de Augustin Fresnel (hacia 1820), y en el establecimiento de la teoría del electromagnetismo (hacia 1880), su punto culminante. De las ideas "atraccionistas" se pasó a una teoría de los medios continuos, a una cinemática de las vibraciones. La física de estilo "laplaciano"⁽²⁾, coronada con éxitos teóricos y experimentales, había sido el resultado de una organización estructurada y centralizada de la investigación, en la que Pierre Simon Laplace, principalmente, había ejercido el control. Tanto el programa de investigación, como el grupo de científicos jóvenes que deberían desarrollarlo, fueron formados por Laplace⁽³⁾. Los principios fundamentales de tal programa eran los de la doctrina newtoniana. Estos presupuestos teóricos sucumbirían frente a los ataques que les fueron dirigidos en el momento en que la "escuela" laplaciana había perdido su influencia y su poder político. Cuando el Primer Imperio francés fue derrocado, un *tour de force* espectacular tendría lugar en la óptica, cuyos presupuestos habían devenido caducos e improductivos. Estos presupuestos se convirtieron en el punto débil de la óptica, pues eran el resultado del control laplaciano y de la imposición de teorías (como la de la atracción molecular y la de la emisión) estériles para poder dar cuenta de fenómenos nuevos como las interferencias, u otros ya conocidos como la difracción. Seguramente en esto pensaba François Arago cuando, algunos años más tarde, hablaba de la Comisión del Instituto de Francia que había estado encargada de hacer el dictamen de un trabajo de Etienne Malus (Sobre el poder refringente de los cuerpos opacos, 1807), expresándose con sorpresa: la Comisión había juzgado los resultados obtenidos por Malus como "la prueba matemática de la verdad de la teoría newtoniana"; y Arago lamentaba "...que las conclusiones del dictamen hubieran sido tan explícitas, que hubieran presentado a la teoría atómica de la luz como perfectamente establecida, y que tal decisión que emanaba de personas tan competentes como Laplace, Haüy y Gay-Lussac, hubiera tal vez contribuido a alejar a Malus de una vía experimental de la que, algunos años después, Fresnel mostraría su sorprendente fecundi-

dad"⁽⁴⁾. Con Fresnel se realizaría la mutación; los diez primeros años de la Restauración aportaron un ímpetu intelectual y un entusiasmo para consolidar la nueva vía abierta por la teoría ondulatoria de la luz, tan brillantemente reintroducida por Fresnel.

Antes de proceder al estudio del episodio de la difracción, me detendré brevemente sobre el "paradigma" corpuscular⁽⁵⁾, en oposición al cual Fresnel construyó su teoría. Este se desarrolló en una época en que las ciencias físicas y sus practicantes habían llegado a un punto nunca antes logrado en su ascensión técnica y social. Bajo el impulso de una generación *éclairé* (Lagrange, Lavoisier, Monge, etc.) las ciencias llegaron a un momento de esplendor. Además, se beneficiaban del interés que les dispensaron los regímenes surgidos de la Revolución Francesa. En este proceso de resurgimiento de las ciencias, dos personajes, P. S. Laplace y Claude L. Berthollet jugarían un papel primordial: durante los años 1799-1815, la influencia de sus ideas y el apoyo que aportaron a una nueva generación de científicos, dieron a este período un estilo que bien puede ser llamado "laplaciano". Ambos llegaron a conformar un programa de investigación de inspiración newtoniana para el conjunto de la física, el cual logró resultados magníficos en el plano teórico y en el experimental. El establecimiento que hicieron, con apoyo oficial, de la *Société d'Arcueil*, un centro de investigaciones en el que formaban a jóvenes científicos, les permitió poner en práctica, hasta consolidarlo, a su "programa de investigación". Dentro de este programa la óptica era considerada un terreno privilegiado de investigación, al cual los mejores científicos de la época se dedicaron. Al igual que en otros campos, pero más particularmente en la óptica, los resultados que se obtuvieron fueron muy importantes. La óptica corpuscular parecía confirmarse, así como las ideas atraccionistas, en la teoría y en la práctica. Los éxitos fueron tales que, hacia el año 1815, este punto de vista era incontestable. Sin embargo, ello no quiere decir que la teoría corpuscular fuera la única, pues desde el siglo XVII, y por los trabajos de Christian Huyghens, se conocía una explicación ondulatoria de los fenómenos ópticos. Durante el siglo XVIII, esta teoría tuvo también defensores, pero sin que lograran hacerla avanzar. Al principiar el siglo XIX (en 1801),

la teoría renacería con la explicación que Thomas Young haría de las interferencias. Sin embargo, el "paradigma" corpuscular se había desarrollado en Francia con el desprecio —incluso voluntario— de esta teoría rival. Apoyada, como estuvo, por varios éxitos (entre ellos la formulación de un modelo físico para la explicación de la doble refracción y el descubrimiento de la polarización: E. Malus, 1807) la teoría corpuscular se reforzaría notablemente. A partir de 1815 Fresnel inicia sus trabajos sobre la difracción, empleando para ello la teoría ondulatoria. Varias batallas hubieron de librar Fresnel, Arago y el partido anti-laplaciano, en el marco de las transformaciones políticas que se operaron en Francia a partir de ese año, antes de que los trabajos de Fresnel desplazaran a la teoría corpuscular, lo cual aconteció tan sólo en el espacio de 10 años.

Ahora bien, lejos estamos de considerar únicamente al "paradigma" corpuscular como un "hecho" teórico, y a "lo teórico" como un lenguaje estructurado y demarcado de "lo histórico", es decir, de la ideología, de la política, en una palabra, de lo social⁽⁶⁾. Fresnel desde el inicio de su actividad científica, desde su primera Memoria sobre los fenómenos difractivos (octubre de 1815), había escogido claramente el campo de la oposición a la teoría dominante, y el de la política republicana anti-napoleónica. Ventajosamente para él, la situación en aquel momento había cambiado considerablemente, y la Memoria pudo recibir una acogida favorable. A pesar de las insuficiencias que son propias a un primer ensayo, la recepción a ese trabajo fue entusiasta por parte de algunos académicos, que en esa época eran ya sensibles a la crítica anti-laplaciana. A partir de ese primer trabajo, Fresnel marcó el principio del declive de la óptica corpuscular y, al final, de la física laplaciana en su totalidad.

Hacia 1815, la comunidad científica francesa había entrado en un proceso de modificación importante. Diversos factores actuaban en tal dirección: políticos, institucionales, científicos, personales. Todo un ambiente de crítica y de transformación se desarrollaba en el país. En las ciencias ciertas condiciones de lucha anti-laplaciana empezaban a reunirse, aun cuando el abandono de la teoría corpuscular no fue signifi-

cativo sino a partir de 1820; pero no podría explicarse la introducción de las concepciones ondulatorias en la óptica de aquella época, sin que se considere el juego complejo de los factores mencionados antes. Esta lucha, en consecuencia, fue llevada a cabo en un doble plano, el intelectual y el político. En un primer momento fue necesario romper el control y el monopolio sobre la investigación, las publicaciones e, inclusive, sobre la enseñanza, que ejercían los partidarios de la ortodoxia corpuscular. Todo lo cual impedía el desarrollo y la difusión de los puntos de vista disidentes.

En un segundo momento, fue necesario afrontar a la escuela emisionista con las armas de la teoría ondulatoria, cuya situación al principio no era muy buena, pues problemas serios la afectaban. En el espacio de 10 años la teoría ondulatoria se desarrolló y fue entonces cuando estuvo en capacidad de mostrar su superioridad en todos los órdenes en los que se le sometió a prueba. En el marco de esas nuevas condiciones, la difusión de sus éxitos estuvo garantizada, y para 1825 era la única teoría enseñada como la verdadera explicación de los fenómenos luminosos, ocupando así la posición que tenía su rival tan sólo una década atrás. Al mismo tiempo, la composición social de las sociedades científicas francesas había cambiado substancialmente. De todo este proceso, la ciencia física emergió como una disciplina moderna.

Al derrocamiento de Napoleón y la ocupación de París por los Aliados en 1814, muy importantes cambios se produjeron en la vida científica francesa. El grupo dirigente, con Laplace y Berthollet a la cabeza, se encontró comprometido políticamente, y desde la primera Restauración sus posiciones se debilitaron. Berthollet (que al igual que Laplace debía su influyente posición a Napoleón y a su kulturpolitik), en tanto que miembro del Senado del Imperio, se vio en la necesidad de firmar el Acta de Proclamación de Louis XVIII, y el Instituto en su conjunto se le solidarizó. Inclusive el rey de Prusia y el emperador de Rusia fueron recibidos formalmente en el Instituto, en abril de ese año. La situación del grupo, fuertemente comprometido con Napoleón en el pasado, se complicaría aún más al retorno de aquél al poder en 1815. Además, algunos de sus miembros habían traicionado abiertamente a su antiguo "patrón".

Con el fin de los "Cien días" y con la segunda Restauración, nuevamente volvió la ocupación extranjera. De nueva cuenta la situación de los científicos era totalmente incómoda, ya que muchos de ellos habían intentado la reconciliación con Napoleón al regreso de éste⁽⁷⁾. Una vez que la situación se estabilizó, se inició una política cultural y científica que conducía a la recuperación de algunos científicos de prestigio no demasiado comprometidos en una militancia republicana. Los otros, Monge, Carnot, Guyton de Morveau, etc. fueron excluidos definitivamente. Laplace y Berthollet que poseían un renombre internacional continuaron recibiendo honores, e incluso, como Laplace, títulos de nobleza. Sin embargo su poder personal, tan importante durante el Imperio, dejó de serlo. En el caso de Berthollet, por ejemplo, inclusive sus recursos financieros fueron considerablemente disminuidos⁽⁸⁾, lo cual agregado a lo avanzado de su edad, hizo que él admitiera que su entusiasmo por la investigación lo había abandonado.

El nuevo régimen procedió, en la aplicación de su política, a realizar reformas en las instituciones de investigación y de enseñanza científica. El Instituto fue reformado por Ordenanza Real del 21 de marzo de 1816; la exposición de motivos declaraba:

...no podíamos ver sin dolor la caída de estas Academias que habían contribuido de manera tan poderosa a la prosperidad de las Letras y cuya fundación fue un título de gloria para nuestros augustos predecesores. Desde la época en que fueron restablecidas con una nueva denominación, hemos visto con una viva satisfacción la consideración y el renombre que el Instituto ha merecido en Europa. Tan pronto la Divina Providencia nos ha llamado al Trono de Nuestros Padres, nuestra intención fue la de mantener y proteger a esta sabia Compañía. Pero Nos, hemos considerado conveniente devolver a cada una de sus Clases su nombre primitivo para vincular su gloria pasada con la que adquirieron después, a fin de recordarles, tanto lo que pudieron hacer en tiempos difíciles, y lo que debemos esperar de ellas en los días felices⁽⁹⁾.

Asociando la Restauración de la Monarquía al carácter mismo del principal centro francés de investigación, toda una definición ideológica y política era hecha de esta Institución. En la cita se percibe el reproche que se hace de las jornadas revolucionarias y la voluntad de recuperación por la vía de la adulación de la ciencia napoleónica, de la cual se quiere sacar el beneficio de su prestigio. El propósito de esta

actitud era el de tranquilizar a esta élite, al mismo tiempo que se le pide que continúe aportando su creatividad a la gloria del Reino.

La composición social de la intelectualidad así como de la comunidad científica fue fuertemente modificada. Un conjunto de medidas fueron tomadas para combatir políticamente a los republicanos y para hacer avanzar una ideología reaccionaria. Un testigo de la época nos ha dejado una narración de ello, con una notable lucidez:

Durante la República y el Imperio, las diferentes clases del Instituto (...) formaban un todo indivisible. Con la Restauración, algunos miembros de la clase de Lengua y Literatura Francesa, se recordaron que eran los herederos legítimos de Messieurs les quarente, y reclamaron su acceso a Palacio como sus predecesores, y quisieron separarse de sus colegas considerados demasiado 'burgueses'. Este asunto levantó vivas discusiones y no fue sin dificultad que, aunque restableciéndose las antiguas academias (...), el nombre del Instituto fue conservado y a pesar de la oposición de algunas personas que intentaron borrar hasta el último resto de origen republicano. Al mismo tiempo, la Restauración cometió el enorme error de expulsar del Instituto a sabios célebres, los cuales fueron substituidos mediante Ordenanza por hombres que tuvieron la debilidad de aceptar una posición indigna de su talento... La Academia de Ciencias, un poco abandonada por sus hermanas, [fue obligada] a buscar una defensa de su utilidad, en el favor del que gozaba entre el público, y en los medios que le ofrecía entonces el movimiento liberal que se operaba entre nosotros⁽¹⁰⁾.

Vista en su conjunto, pues, la apacible y bien organizada comunidad científica del Primer Imperio se encontraba ahora trastocada. Después de 1815, inclusive su base sería afectada, base que había sido constituida a partir del autoritarismo estatal y del control teórico-político de la enseñanza y de la investigación. Sin embargo, se estaba tan sólo en aquel momento en el comienzo del proceso, pues aún la estructura de la ciencia napoleónica sobreviviría más o menos inalterada durante varios años. Algunos de sus aspectos inclusive se integrarían definitivamente⁽¹¹⁾.

Así, fue sobre todo la pérdida de una parte del control que ejercían los "laplacianos" sobre la política científica, y sobre la política en el interior de la Academia de Ciencias, lo que constituyó el efecto principal de este cambio en el primer momento, pues en lo que concierne a los aspectos intelectuales se iban a librar aún batallas importantes, antes de derrocar en óptica —y en las ciencias físicas en general— a la

física laplaciana.

En 1815 se estaba ya lejos de la centralización que agrupaciones como la *Société d'Arcueil*⁽¹²⁾ habían permitido. Esta sociedad había dejado de funcionar hacia 1813, aunque sus miembros se mantenían activos individualmente. Entre ellos habían surgido disputas teóricas y conflictos personales, que obraron en el sentido del abandono de la ortodoxia "laplaciana", por parte de algunos de entre ellos. Tal fue el caso muy importante de Arago, quien estuvo entre los primeros en separarse de Arcueil. El mismo denunciaría más tarde el "papel negativo" que en aquella época desempeñaron los eminentes hombres de ciencia que dirigían la investigación en Francia:

Antes de ir más lejos, digamos unas palabras sobre las críticas a las que dió lugar, hace tiempo, esta especie de miembro de la Primera Clase del Instituto. Resultaba para jóvenes principiantes en la ciencia, una circunstancia eminentemente honrosa tener por primeros jueces y consejeros de sus trabajos, a los hombres de celebridad europea como los Laplace, los Berthollet, los Humboldt, y otros; pero, ¿podría acaso afirmarse que no hubo ideas preconcebidas a las que fácilmente se entregan los mejores espíritus en una reunión por así decir íntima, que ante un público numeroso?, ¿y tales ideas no sirvieron acaso para detener la espontaneidad del genio y para orientar sus investigaciones hacia un nivel previamente convenido? Por otra parte, el deseo de otorgar pruebas de fecundidad, en presencia de los sabios más célebres de la época, ¿no tendría como resultado conducir a algunos espíritus entusiastas a lanzarse en teorías de aventura?⁽¹³⁾.

En estas palabras de Arago se percibe la alusión, en particular, al caso de la óptica. Ya hemos hecho referencia a consideraciones similares que Arago hizo a propósito de Malus y su explicación corpuscular de la doble refracción. Y sabemos cuán importante fue para Malus la convicción corpuscular de Laplace para la consolidación de su programa⁽¹⁴⁾. Sabemos, igualmente, la influencia determinante que ejerció también sobre toda una generación de científicos, Arago incluido. Sin embargo, Arago iba a jugar un papel decisivo en la introducción de los trabajos de Fresnel y en la aceptación de la teoría ondulatoria en Francia. Como lo ha hecho notar Maurice Crosland, la teoría ondulatoria "...debe tanto al apoyo de Arago, como a la visión experimental de Fresnel"⁽¹⁵⁾. Y, ¿cómo se explica que Arago se volviera sensible a las ideas ondulatorias y que se

determinara a llevar la lucha contra el partido laplaciano hasta el punto de convertirse en su principal antagonista? Sin duda, porque se encontró en el centro de varios acontecimientos que su biografía nos explica. Carecemos de espacio para referirnos con detalle a ella. Mencionemos tan sólo que Arago era un egresado de la Ecole Polytechnique que por su actividad como científico experimental había logrado su elección a la Primera Clase del Instituto ¡a la edad de 23 años! El rasgo de la biografía de Arago que aquí nos interesa destacar, fue su compromiso político constante que lo llevó a ser Secretario-Perpetuo de la Academia de Ciencias en 1830. En tanto que republicano, participó en la vida política de su país de manera intensa; perteneciente al ala liberal burguesa devino diputado de los Pirineos Orientales en 1830, encontrándose en la oposición; y durante la revolución de 1848, formó parte del Gobierno Provisional, encargado del Ministerio de la Guerra. En su actividad científica mantuvo una disputa continua con Jean Baptiste Biot, quien a la muerte de Malus (1811) se había convertido en el miembro más distinguido de la escuela "laplaciana" y en especialista en óptica⁽¹⁶⁾.

La disputa entre Biot y Arago respondía a su diferente temperamento, pero también a su diferente posición política, y tal como se haría evidente después, a sus diferentes posiciones teóricas. No pretendo absolutizar esas disputas como la causa del abandono de Arago a la teoría corpuscular, pero tal vez ellas lo volvieron más dispuesto a una apertura de criterio. Igualmente, hay que considerar las observaciones posteriores de Arago y su crítica del autoritarismo teórico de Laplace y Berthollet. Estas críticas, aunque formuladas en otra época, muestran el malestar que la centralización y el monopolio teórico despertaban entre algunos, lo cual no era sino un aspecto de un hecho más general: el compromiso y la sumisión incondicional de los científicos y de las instituciones científicas al régimen napoleónico, lo cual no podía dejar de provocar una reacción entre los republicanos. En especial, a partir del momento en que la autoridad de Napoleón se convirtió en absoluta, el malestar se convirtió en hostilidad abierta cuando Napoleón se proclamó Emperador. En cambio, la lealtad a Napoleón no se modificó entre los dirigentes de Arcueil y los de la comunidad científica.

Los estudiantes de la Ecole Polytechnique manifestaron su inconformidad en varias ocasiones. Por ejemplo, en el momento de la proclamación del Imperio. En efecto, los estudiantes se rehusaron en repetidas ocasiones a firmar un documento aceptando la proclamación de Napoleón como Emperador. Ello daría lugar al siguiente incidente: Napoleón, indignado, intentó expulsar a algunos estudiantes, y solamente el hecho de que tal expulsión de los estudiantes republicanos implicaba la eliminación de los mejores estudiantes, Arago entre ellos, lo disuadió de tal medida, al tiempo que exclamaba: "Yo no perseguiré a los primeros de la promoción; ...¡ah! si hubieran estado entre los últimos..."⁽¹⁷⁾. Biot, en cambio, en política fue un enemigo del jacobinismo, y con la Primera Restauración pasó a ser miembro de la Legión de Honor. Uno de sus biógrafos ha presentado la vida de Biot como la de un sabio y la de un cristiano militante⁽¹⁸⁾. Otros, como Laplace, a pesar de su asociación con Napoleón, con la Restauración encontraron el favor de Luis XVIII; aunque en este caso, lo que obró en favor de Laplace fue la reforma del calendario republicano inspirada por él, reforma que le valió en la Restauración el "olvido" de su colaboración con el régimen imperial⁽¹⁹⁾.

Durante el período napoleónico y al principio de la Restauración, la oposición política era ilegal. Ante la ausencia de una vía política, la oposición se desarrollaba en los medios literarios y científicos⁽²⁰⁾ de la Ecole Normale y de la Ecole Polytechnique. Entre los científicos había auténticos republicanos como Cauchy, Galois, Carnot, Arago, Fresnel. Durante las monarquías constitucionales que se sucedieron, las opiniones políticas pudieron tener un curso "normal", lo cual permitió la formación de partidos, como el partido republicano, por ejemplo. Por ello, no podemos dejar de considerar este período de la vida científica de Francia, y en particular la intervención de Arago y Fresnel, como una proyección sobre el escenario científico de la vida política del país. Dicho de otra manera, que en la ausencia de una vida política real, sobre todo durante el Imperio, la política se manifestaba también en los foros de las sociedades científicas.

Ahora bien, procediendo de esta manera, nos vemos ante la necesidad de considerar a la política como factor actuante sobre las ciencias

en coyunturas precisas. La política se traduce en la adopción y la defensa de puntos de vista teóricos. Tal fue el caso que estamos estudiando, por las posiciones adoptadas por los físicos y defendidas a todo precio, las cuales las consideramos como toma de posiciones políticas para la defensa de *intereses científicos*. Científicos, porque los intereses personales o de grupo que van a estar asociados al éxito (científico), son valorizados con las armas de las teorías científicas. Se trata de armas intelectuales, de armas que son escogidas y desarrolladas en función de su eficacia. Esto significa que las teorías son adoptadas y los experimentos realizados, a fin de mostrar una superioridad o una "progresividad" frente a las teorías y su poder predictivo que son sostenidas por los adversarios. Pero no se trata exclusivamente de un cambio de "arena" del juego político, pues esta "superioridad" debe ser entendida, y sobre todo en el estadio de profesionalización al que nos estamos refiriendo, como una superioridad en los métodos conducentes a la obtención de conocimientos. Los métodos, en tanto que instrumentos de la investigación, son el conjunto de procedimientos (hipótesis, teorías, experimentos, reglas metódicas, operaciones lógicas, etc.) que son empleados en el *proceso* de adquisición y elaboración de los conocimientos. De hecho, no podría desarrollarse la ciencia sin esta confrontación constante entre teorías, único procedimiento que permite encontrar una instancia crucial y objetiva para decidir en el debate teórico. La actividad crítica constituye uno de los elementos del progreso de las ciencias, y es la que aporta las motivaciones más profundas a los científicos. Esta tarea se realiza en la obra colectiva de la ciencia por grupos con intereses políticos opuestos, o por diferentes generaciones que derrocan la obra de quienes los precedieron, o por cualquier otra revuelta cuyas motivaciones últimas se encuentran fuera de las Academias. Los monumentos de rigor que fueron las Memorias y los Tratados de Física del período laplaciano (sobre temas nuevos como la luz, el magnetismo, la química, etc.), fueron, en parte, erigidos para glorificar la ciencia de la Revolución y del Imperio, y gracias a lo que esos regímenes aportaron para que ello se consiguiera⁽²¹⁾.

De cualquier manera, Arago abandonó la teoría corpuscular de

manera implícita en su "Memoria sobre los colores de las láminas delgadas" de febrero de 1811, en el cual hace una discusión de la ortodoxia y recurre a los trabajos de Young. En 1814, publica una nota "Sobre el centelleo" en la que utiliza el principio de las interferencias para explicar el centelleo de las estrellas. Muy pronto, Arago desempeñaría un papel decisivo en la introducción de la teoría ondulatoria de la luz en Francia. Arago fue el principal instrumento para su difusión, y sin su participación las ideas de Fresnel quizás habrían quedado en el olvido como aconteción con las de Young⁽²²⁾. Fresnel era un desconocido en el medio científico francés, y sin el apoyo y la orientación de Arago, y sin el entusiasmo que le comunicó, hubiera continuado desorientado en sus investigaciones. La "Memoria sobre la difracción" (1815), que fue el primer resultado de tal colaboración, sin el sostén de Arago hubiera carecido de consecuencias, pues de hecho, no contenía nada nuevo y repetía, sin saberlo Fresnel, las observaciones que Young ya había hecho.

Agustín Fresnel era ingeniero de puentes y caminos, egresado de la Ecole Polytechnique, y se encontraba trabajando en la provincia de Francia, en un aislamiento —dice Verdet⁽²³⁾, el editor de las obras de Fresnel— casi completo. Para distraerse, Fresnel emprendió estudios diversos antes de dirigir su atención hacia la óptica. Probablemente fue durante los primeros meses de 1814 que su atención se dirigió "...de nuevo sobre las dificultades que le habían presentado, en la Ecole Polytechnique, la doctrina aceptada de la materialidad del calórico y de la luz, y la búsqueda de una teoría más satisfactoria se convirtió en el objetivo de sus esfuerzos"⁽²⁴⁾. Fresnel no estaba preparado para este tipo de investigaciones e ignoraba completamente los trabajos de sus predecesores. Era autodidacta en física y en 1814 ignoraba los últimos trabajos publicados sobre la materia. El 15 de mayo de 1814 escribe a su hermano Léonor:

"Quisiera disponer... de las memorias que me pongan al corriente de los descubrimientos de los físicos franceses sobre la polarización de la luz. Hace algunos meses leí en *El Monitor*, que Biot había leído en el Instituto una Memoria muy interesante sobre la polarización de la luz. Por más que me rompo la cabeza, no adivino que pueda ser eso".

A pesar de su falta de contacto con los últimos trabajos de óp-

tica, o quizás a causa de eso mismo, Fresnel se ubicó inmediatamente al lado de la teoría ondulatoria: "Te confieso —escribía el 5 de julio— que estoy fuertemente inclinado a creer en las vibraciones de un fluido particular en la transmisión de la luz..."⁽²⁵⁾. En su correspondencia de esta época se puede observar un gran deseo de hacerse notar por los científicos, enviándoles por la intermediación de su hermano y de su tío, Léonor Merimée, notas sobre diversos temas de física y de óptica. Parecería que elegir un terreno no explorado fue su táctica. Sin embargo, sus intentos resultaban estériles, ya que, sin saberlo, se ocupaba de problemas que ya habían sido resueltos, o bien, sus esfuerzos estaban alejados de la solución.

Los acontecimientos políticos vendrían a cambiar súbitamente la situación de Fresnel. En 1815 fue suspendido en sus funciones de ingeniero y puesto bajo vigilancia en Nyons, al principio de los "Cien días". Sus convicciones republicanas y su oposición a Napoleón lo habían llevado a sumarse, como voluntario, al ejército del Duque de Angouleme que intentó detener el regreso de Napoleón de la isla de Elba. Fresnel no recuperaría su puesto, sino con la segunda Restauración. Por esa época hace un viaje a Normandía y a su paso por París, visitó a algunos científicos, a Arago entre ellos, para solicitarles consejo. Arago lo recibió amablemente y lo animó a continuar sus investigaciones. Al llegar a Mathieu, en Normandía, empezaría sus investigaciones sobre la difracción. Podemos hacernos una idea de su entrevista con Arago, ya que Fresnel hizo referencia a ella en una carta que dirigió a Arago un poco después. Arago le propuso que se ocupara del fenómeno de la difracción de la luz y le aconsejó que hiciera varias lecturas de óptica, entre ellas, el trabajo de Grimaldi, el de Newton, el tratado de Jordan y las Memorias de Brougham y de Young⁽²⁶⁾. Pero, estando alejado de París donde podía procurarse esas obras, y desconociendo el inglés, Fresnel empezó sus investigaciones sin una orientación correcta y sin estar al corriente de la literatura existente. Así, desde su "Primera Memoria sobre la Difracción", de octubre de 1815, Fresnel repetía los descubrimientos que ya Young había realizado, en particular el principio de las interferencias, la explicación de los colores de las láminas delgadas y la

teoría de las franjas exteriores a las sombras. Sin embargo, la importancia de este primer encuentro de Fresnel con Arago, debe apreciarse por haber puesto a Fresnel en la línea de un tema de investigación tan fecundo.

Arago tuvo la ocasión de intervenir de nueva cuenta, y esta vez de una manera decisiva, en la carrera científica de Fresnel, en tanto que reportero de la Comisión que fue nombrada para dar cuenta de la Memoria de Fresnel. El otro comisario era Poinso⁽²⁷⁾. Este primer trabajo de Fresnel era, de hecho, el primero en que se atacaba directamente a la teoría de Newton, generalmente aceptada hasta entonces. La importancia de esta intervención de Arago debe ser medida imaginando lo que hubiera podido acontecerle a este primer trabajo de Fresnel, si un físico emisionista, Biot por ejemplo, que era el especialista en óptica, hubiera intervenido. O bien la Memoria hubiera sido ignorada, o bien simplemente se hubiera reportado que era interesante pero sin agregar nada nuevo (lo que era, además, el caso).

Al contrario de esto, Arago se comprometió decididamente, declarando: "...yo la defenderé con todo mi poder, y, quien sea el que ataque la teoría de las ondulaciones, yo espero hacerla triunfar"⁽²⁸⁾. Más aún, Arago obtuvo un permiso para Fresnel, para que pudiera hacer una estancia en París con el fin de que pudiese ejecutar sus experimentos en mejores condiciones, como las que Arago podía ofrecerle. Fresnel pasó los primeros meses de 1816 en París, donde efectuó numerosos experimentos que le habían sido sugeridos por Arago, como, por ejemplo, el que debería mostrar que las franjas "avanzan" hiperbólicamente. Este era un experimento decisivo⁽²⁹⁾.

Así, desde el año de 1815 se estableció una cooperación estrecha entre estos dos hombres que resultaría sumamente fructuosa. Para Arago, los resultados obtenidos por Fresnel eran muy importantes y pensaba que "...quizás servirán para probar la verdad del sistema de ondas...". Al mismo tiempo aseguraba a Fresnel: "Usted puede contar con la dedicación que pondré para hacer valer vuestro experimento"; y conciente de la dificultad de tal empresa, Arago agregaba: "la consecuencia que se deduce es tan opuesta al sistema *de moda*, que debo esperar muchas objeciones.

Usted deberá ayudarme a rechazarlas", para lo cual Arago sugería a Fresnel profundizar en la medición de las bandas a fin de mostrar su "movimiento curvilíneo". En otro pasaje, Arago solicita a Fresnel no abandonar las investigaciones sobre la difracción por otras sobre la polarización, hasta no haber obtenido nuevas pruebas experimentales⁽³⁰⁾.

Como resultado de su correspondencia y de su contacto directo en París, se estrecharon los vínculos entre Arago y Fresnel. Esto permitió que diseñaran una estrategia para esta etapa inicial, la cual condujo a: 1º) Un complemento a la "Primera Memoria sobre la difracción" del 10 de noviembre de 1815⁽³¹⁾; 2º) a una nota de Arago a la Academia en la cual anuncia las observaciones de Fresnel de las bandas interiores y de un nuevo método para observarlas que había sido imaginado por el propio Fresnel⁽³²⁾; y 3º) al célebre reporte de la "Memoria sobre la difracción"⁽³³⁾ que Arago leyó en el Instituto el 25 de marzo de 1816.

Este reporte contenía en dos partes (una para las observaciones nuevas contenidas en la Memoria y otra para la teoría en la que Fresnel interpretaba sus resultados) una exposición detallada de la Memoria con comentarios elogiosos para el autor. El reporte concluía con recomendaciones para que la Academia testimoniara a Fresnel su satisfacción por sus experimentos y para que lo exhortase a aplicar su teoría a otros fenómenos. Finalmente, recomendaba que la Memoria fuera publicada por la Academia. El reporte fue aprobado y las conclusiones fueron adoptadas por la Academia. Un mes más tarde, Arago hizo publicar la Memoria en los *Annales de Chimie et de Physique*; la revista recientemente renovada (a la muerte de su secretario Collet Descoltis en diciembre de 1815) y ahora bajo la dirección conjunta de Arago (para la sección de física) y de Gay-Lussac (para la sección de química). De esta manera la teoría ondulatoria rompía el silencio por primera vez en Francia.

En julio de 1816, Fresnel escribía a su hermano: "Tú puedes ver que el partido de las vibraciones se fortifica todos los días (pues creo haberte anunciado la conversión de Ampère)"⁽³⁴⁾. En efecto, la Memoria de Fresnel había suscitado un interés considerable. Además de Arago, otros como Petit, Ampère y Gay-Lussac se unían a la oposición anti-laplaciana, dejando ver que el "programa" era también atacable en otras ramas.

Era una corriente de ímpetu intelectual la que empezaba a desarrollarse en las ciencias. En la misma época, Arago y Petit, por ejemplo, realizaban experimentos que se oponían a las conclusiones corpusculares que antes el propio Arago había obtenido con Biot sobre la refracción de los gases⁽³⁵⁾. Delambre, en el reporte que hizo de este trabajo, señaló: "Estas diversas suposiciones disminuyen la simplicidad y la verosimilitud de la teoría newtoniana"⁽³⁶⁾. Estos eran pasos en la dirección de la lucha contra la escuela emisionista, la cual, por su parte, preparaba una respuesta a estos primeros ataques, convocando a un Premio de Física, donde el tema era la difracción.

En el mismo mes en que Arago presentó su reporte y que la Memoria de Fresnel fue publicada, Biot leía una Memoria sobre la difracción desde un punto de vista corpuscular, la cual había sido preparada con la ayuda del joven Claude Pouillet⁽³⁷⁾. Biot, que desde la muerte de Malus había continuado el trabajo de éste con investigaciones sobre la polarización móvil, había devenido en el especialista en óptica de la Academia y el principal teórico del punto de vista corpuscular. Ahora, Biot pretendía elaborar una teoría corpuscular de la difracción. Su *Traité de Physique*, publicado el mismo año (1816), iba en la misma dirección. En estos dos trabajos se explicaba el lugar de las bandas difractivas como Newton lo había hecho para los diferentes colores de los anillos coloreados de las placas delgadas, es decir, producidas por los "accesos de fácil reflexión" y de "fácil transmisión". Biot empleaba aquí la misma analogía que había empleado tanto Young como Fresnel; pero, en el caso de la teoría ondulatoria, la analogía estaba justificada porque los dos fenómenos resultan del mismo mecanismo: las interferencias. Como quiera que fuera, lo que la escuela emisionista buscaba, era mostrar que estaba en capacidad, ella también, de dar cuenta de la difracción. Pero un hecho importante era su incapacidad para explicar las trayectorias de las bandas difractivas hiperbólicas observadas por Young, Fresnel, y ¡por el mismo Newton!⁽³⁸⁾: Biot postulaba trayectorias rectilíneas, pues teóricamente, desde su punto de vista, era imposible hacerlo de otra manera. Tal como lo hemos visto, las trayectorias curvilíneas habían sido el principal descubrimiento de Fresnel, y Arago había hecho de ellas su

principal argumento contra la teoría corpuscular. No se les podía ignorar.

En este momento los emisionistas sintieron que la confrontación resultaba inevitable. El interés iba en aumento, sobre todo cuando el 17 de enero de 1817, una comisión de la Academia de Ciencias formada por Laplace, Biot, Berthollet, Gay-Lussac y Charles, decidió que el tema para el Premio de Física del año 1819 de la Academia fuera el de la difracción. Se comprende bien que las intenciones de los "emisionistas" miembros de la Comisión (salvo Gay-Lussac), eran de oponer su doctrina a los estudios de Young y de Fresnel. Ellos esperaban contar con una nueva ocasión para hacer triunfar su doctrina, como había acontecido con el caso de la polarización y el de la doble refracción en 1808⁽³⁹⁾. El testimonio de Léonor Merimée, en la carta que le envía a su sobrino, viene a poner en claro sus intenciones:

Tú debiste recibir hace una quincena de días por lo menos, una carta de tu defensor Arago, quien me ha contado cómo acababa de librar un combate rudo con los emisionistas, los cuales han encontrado adecuado poner en duda *la difracción de la luz*, y han propuesto un premio para aquel que la explique lo mejor posible según la doctrina que ellos han adoptado. Arago, tomado en desprovisto, hizo frente al enemigo llamando a los suyos, y logró detener la invasión, es decir, obtuvo que se haga mención de tu Memoria en el programa⁽⁴⁰⁾.

Como se puede observar, Laplace y Berthollet, con Biot y Charles (pues Gay-Lussac era más bien refractario), los maestros mismos de la escuela emisionista, se habían encargado de preparar la defensa de sus intereses científicos ciertamente, pero políticos y personales igualmente, pues en aquel momento todo para ellos había empezado a ir mal. Estaban en pérdida de sus antiguas posiciones personales: privilegios (Berthollet había visto sus recursos disminuidos considerablemente), oportunidades (Biot había perdido la ocasión de pasar a ser director de los *Annales de Physique et Chimie*), prestigio (como en el caso de Laplace)⁽⁴⁾. Desde el punto de vista de su poder en la comunidad científica, igualmente su situación se deterioraba (Arcueil había cesado sus actividades; no contaba más con el apoyo del poder; su influencia disminuía notablemente). Y, sobre todo, la estabilidad y la uniformidad de su teoría, la base misma sobre la que sus carreras personales y científicas habían sido construi-

das, se encontraba ahora gravemente amenazada. Para defenderse, imaginaron una maniobra que consistía en ignorar la existencia de la teoría de Fresnel, y en preparar el terreno a una teoría corpuscular de la difracción, la cual ya estaba en curso de elaboración por Pouillet. Una estrategia similar había triunfado en 1808, con el Premio de la doble refracción. Se esperaba, en esta ocasión, un resultado igual.

El paralelismo entre el Premio de la doble refracción y el de la difracción es notorio. En ambos casos se trataba de detener la amenaza que pesaba sobre el monopolio teórico-corpuscular a causa de los últimos progresos de la teoría ondulatoria. En los dos casos todo había sido preparado para recompensar el trabajo de alguien que ya lo había emprendido con anterioridad a que el Premio fuera anunciado (Malus en el primer caso, Pouillet en el segundo). Y en ambos casos, esa táctica era empleada para favorecer al mismo partido; pero, a diferencia de 1808, la forma como terminó este episodio no fue la misma. Esta vez las relaciones de fuerza no eran las mismas entre los partidos. En esta ocasión la teoría ondulatoria está sólidamente desarrollada y no es más la simple amenaza de ver confirmada la construcción de Huyghens mediante los experimentos de Wollaston; ya no está tampoco ignorada y alejada de las publicaciones, como lo estaba en 1808; ahora, la teoría está sostenida por nuevas observaciones y por nuevos experimentos, mientras que su rival ha dejado de ser la teoría "progresista" que era una década atrás, en la época en la que acumulaba éxitos de manera continua.

Además, tampoco era ya el tiempo en que Laplace y sus "protegidos" ejercían una influencia determinante en la comunidad científica; ahora su antiguo poder les es disputado; es el momento en que una recomposición de los grupos y de los intereses en el medio científico ha intervenido. De esta manera, se puede observar cómo el grupo "laplaciano", al perder la posición dominante, se vuelve sensible a las presiones y sus intenciones pueden ser modificadas. Así, Arago logrará su propósito de hacer que se incluyera en la definición de la cuestión tema del Premio, la mención explícita de los trabajos de Young y Fresnel: "Los fenómenos de la difracción —se puede leer en el acta—..., han sido, en los últimos tiempos, el objeto de investigaciones de varios físicos, en es-

pecial de los sres. Young, Fresnel, Arago, Pouillet, Biot, etc."⁽⁴²⁾. Pero algo aún más importante fue el hecho de que Arago lograra que lo nombraran comisario, el mismo título que Laplace, Biot, Poisson y Gay-Lussac, los otros miembros de la Comisión que debía juzgar los trabajos de los concursantes.

Había también otra diferencia en 1817 en relación a 1808 y era que, a pesar del reporte tan favorable de Arago, parecería que la Comisión que seleccionó el tema del concurso subestimó a Fresnel. Efectivamente, aún el enunciado del tema no planteaba la verdadera cuestión de la difracción. Los comisarios, traicionados por sus preocupaciones, habían definido un problema que no estaba hecho para atraer a Fresnel a concurrir, ya que la cuestión estaba formulada en términos que no tenían un sentido sino en la teoría de la emisión:

- 1^o Determinar mediante experimentos precisos todos los efectos de la difracción de los rayos luminosos directos y reflejados, cuando estos pasan separadamente o simultáneamente cerca de las extremidades de uno o de varios cuerpos de extensión, ya sea limitada, ya sea indefinida, y en relación a los intervalos de esos cuerpos, así como a la distancia de la fuente luminosa de donde emanan los rayos.
- 2^o Concluir de esos experimentos mediante inducciones matemáticas, los movimientos de los rayos a su paso en las cercanías de los cuerpos.

Fresnel, sin embargo, aceptó participar bajo las instancias de Ampère y Arago⁽⁴³⁾. Contaba a su favor el haber tratado recientemente la difracción y ésta era una buena ocasión para completar su trabajo. Realizó algunas correcciones sobre algunas dificultades de su primera versión⁽⁴⁴⁾, y se propuso someter a prueba "...los dos sistemas en que se han dividido los sabios sobre la naturaleza de la luz"⁽⁴⁵⁾, el de las emisiones y el de las ondas, mediante una comparación con el conjunto de fenómenos que presenta la luz cuando encuentra cuerpos opacos. Las cuestiones formales del concurso no ocupan en la Memoria que presentó Fresnel, sino un lugar secundario. Haciendo un balance, Fresnel presentaba la verdadera cuestión teórica así:

La multiplicidad y la complicación de las hipótesis no constituye el único defecto del sistema de la emisión. Admitiendo inclusive todas las hipótesis que acabo de enunciar, no se lograría una explicación completa de los fenómenos, como mostraré más adelante en esta Memoria. Únicamente la teoría de las

ondas puede dar cuenta de todos los fenómenos que presenta la difracción de la luz(46).

El resultado fue una Memoria de gran extensión que explicaba de manera rigurosa los diferentes fenómenos de la difracción y que aportaba la teoría general:

...en el sistema de las ondulaciones, y sin necesidad de ninguna hipótesis secundaria, apoyándose tan sólo en el principio de Huyghens y en el de las interferencias, que son uno y otro consecuencias de la hipótesis fundamental(47).

Fresnel identificó esta Memoria con el epígrafe: "Natura simplex et fecunda", una máxima que hizo suya en el tratamiento del tema; Fresnel se había propuesto explicar mediante *un mínimo* de principios la diversidad de fenómenos a estudio pues, decía él, en eso consiste la economía de la naturaleza, "*producir el máximo* de efectos con el *mínimo* de causas⁽⁴⁸⁾". He ahí el centro de las críticas levantadas por Fresnel contra la teoría corpuscular: la complejidad de la teoría, con múltiples hipótesis independientes que constituían el andamiaje del concepto central de molécula luminosa. Sus efectos ópticos no podían ser explicados más que por la atribución de características hipotéticas convenientes (es decir, *ad hoc*) a los corpúsculos. Cada nuevo fenómeno necesitaba de nuevas hipótesis. Fresnel, en cambio, había logrado en esta Memoria establecer una teoría simple que ponía en relación a los más diversos fenómenos a partir de un principio general. Ahora bien, Fresnel mediante la crítica detallada a la teoría rival y mediante su adopción de la teoría ondulatoria, quería presentar a ésta como una alternativa. Desde su punto de vista, la naturaleza de una teoría es importante, ya que constituye el primer paso antes de la investigación detallada: Para él, se necesitaba de una teoría capaz de dar cuenta de la diversidad a partir de principios simples. Toda la variedad de las modificaciones ópticas que la luz experimenta no podían ser explicadas por un fluido compuesto de partículas interdependientes. Esto llevaba a Fresnel, lógicamente, a concebir una teoría para la cual la luz está constituida por un fluido universal vibrante.

La Comisión anunció el 15 de marzo de 1819 su decisión de otorgar el Premio a la Memoria inscrita con el número 2, y portando el epígrafe "Natura simplex et fecunda". El acta de la sesión indica: "Habiéndose abierto el billete, el autor es M. Fresnel, ingeniero del Cuerpo de

Caminos y Puentes"⁽⁴⁹⁾. Hubo otro participante cuyo nombre no fue retenido. La Comisión afirmaba en su reporte: Esta decisión se impuso

- "...tanto por la exactitud de las observaciones que contiene (la Memoria), como por la novedad de los resultados"⁽⁵⁰⁾.

Esta determinación de otorgar el Premio a Fresnel intervenía pese al hecho de que tres de los cinco comisarios eran firmes partidarios de la teoría corpuscular, y sin que esto significara que se hubieran convertido a las ideas de Fresnel. El mismo Fresnel se preocupaba por un juicio imparcial y afirmaba: "Hay aquí algo más que un premio, es una revolución a realizarse en la ciencia"⁽⁵¹⁾. Solamente Arago y Gay-Lussac estaban satisfechos con la nueva teoría de la difracción; "...la mayoría de los comisarios —decía Fresnel— está en favor de la teoría newtoniana"⁽⁵²⁾. ¿Cómo, pues, pudo constituirse un juicio mayoritario en favor de Fresnel? La cuestión es interesante desde el momento en que sabemos que jamás ni Poisson, con quien Fresnel tuvo discusiones posteriormente, ni Biot, que un poco después haría una defensa dramática de sus puntos de vista en la Academia, reconocieron la superioridad de la teoría ondulatoria⁽⁵³⁾. En cuanto a Laplace, sus trabajos no le arrancaron, como dice Sernamont, "una abjuración exterior", aunque habría llegado a una "duda inconfesada", pues eliminó en su edición de 1824 de la *Exposition du système du Monde*, su tratamiento sobre la óptica (corpuscular), "pues estos resultados —explicaba— habiéndose ampliado desde aquella época, merecen que los haga tema de un tratado especial..."⁽⁵⁴⁾.

De cualquier manera, y a la luz de otras informaciones, podemos suponer que fue Laplace quien decidió. En efecto, dos consideraciones nos permiten pensar así. Primero, el hecho de que Laplace, miembro venerado de la comunidad científica por sus grandes obras, tuvo varios gestos de aliento para con Fresnel. El mismo Fresnel narra, por ejemplo, cómo, en ocasión de una visita a la casa de campo de Laplace, al despedirse, "me ha dicho graciosamente que, aunque él no aprobaba mi modo de ver sobre varios puntos, sin embargo él seguía con interés mis investigaciones"⁽⁵⁵⁾. Declaración que viniendo de ese gran personaje, constituía un cumplido, sin duda. Más tarde, en 1821, Laplace declaró que ponía a las investigaciones de Fresnel, "por encima de lo que se había comunica-

do a la Academia desde hacía largo tiempo". La segunda consideración nos lleva a pensar que si Laplace votó a favor del "anti-laplacianismo", fue como reconocimiento al trabajo de Fresnel ciertamente, pero también, y sobre todo, en atención a sus intereses de política académica. La corriente anti-laplaciana era ya para entonces demasiado fuerte y el intento por detenerla con este Premio había fracasado. Esto hizo que Laplace, por interés, votara así. Desde luego, no fue por convicción. Tiempo después, Laplace se vió obligado a actuar en el mismo sentido cuando votó con los anti-laplacianos a favor de Fourier y en contra de su discípulo Biot, en la elección del Secretario Perpetuo de la Academia, en 1822. Laplace intentaba, tal vez, llevar a cabo una política realista, cuidando no perderlo todo. De hecho Laplace pasó sus últimos años —murió en 1827— lejos de ser el viejo hombre de ciencia respetado por todos, sino más bien (como se dice en las "Lettres a un American") "reducido al silencio"⁽⁵⁵⁾.

En la aceptación por parte de la Comisión de la Memoria de Fresnel intervinieron, desde luego, factores relativos a la "superioridad" de ese trabajo, sobre todo en el plano experimental. Esto se observa claramente en el incidente que narro a continuación. En una de las reuniones de la Comisión, una verificación inesperada de la teoría de las ondas se presentó. Esta debió pesar en el juicio de los comisarios, ya que se le menciona especialmente en el Reporte:

Uno de vuestros comisarios, M. Poisson, había deducido de las integrales mencionadas por el autor, el resultado singular de que el centro de la sombra de una pantalla circular opaca, cuando los rayos penetraban en ella en incidencias poco oblicuas, debería estar tan iluminada como si la pantalla no existiera. Esta consecuencia fue sometida a prueba mediante un experimento directo y la observación confirmó perfectamente al cálculo⁽⁵⁶⁾.

Se puede uno imaginar, a pesar del tono medido propio de un reporte científico, que este experimento resultaba de una objeción muy seria, pues de ella se deducía un resultado paradójico, lo cual debió sorprender fuertemente a los comisarios. Varias otras verificaciones experimentales de las fórmulas de Fresnel fueron realizadas, y ellas están contenidas en las notas anexas A, B, C y D del Reporte.

No hubo, pues, únicamente factores "externos" en esta batalla

de la difracción. Factores experimentales y teóricos intervinieron también, pero sin los primeros, y sin la coyuntura particular que crearon, los otros no hubieran podido desarrollarse. Solamente el juego completo de estas dos dimensiones de la actividad científica puede explicarnos este episodio de la "revolución ondulatoria".

El triunfo de la Memoria de Fresnel constituyó una victoria muy importante para el partido de los ondulatoristas. Se trató de la *primera victoria pública*. En lo sucesivo, los adversarios ya no podían ignorar el principio de las interferencias y su aplicación al fenómeno de la difracción de la luz. La Academia de Ciencias ya lo había aceptado. En publicaciones como el *Traité de Physique* de Haüy (1821), o inclusive el de Biot (1822), se le menciona, aunque con pesar de sus autores. Biot, por ejemplo, expresaba su esperanza de ver un día confirmada su teoría predilecta: "Sería deseable dar una explicación mecánica de este fenómeno según la teoría de la materialidad de la luz"⁽⁵⁷⁾.

A pesar del éxito logrado por la teoría ondulatoria, la cuestión sobre la naturaleza de la luz no cesó inmediatamente, aún la esperaban nuevas barreras, unas internas, pues aún quedaban cuestiones importantes por explicar, como la polarización; otras externas, pues sus adversarios aún estaban dispuestos a luchar antes de conceder su derrota. Pero en realidad, estos últimos luchaban por una causa que estaba perdida de antemano. Al menos tal fue el sentimiento entre numerosos científicos, ya que tentados por el éxito de los ondulatoristas quisieron desarrollar ese punto de vista en otras ramas de la física y en la química. Una vez que la doctrina de la acción a distancia fue desacreditada en un campo del programa laplaciano, una atmósfera de crítica se desató, y ello permitió lanzarse a la búsqueda de nuevos descubrimientos y de nuevas observaciones: entre otros, se pueden citar los trabajos de Petit y de Dulong sobre la teoría del calor, y del mismo Dulong sobre la introducción de la teoría atómica en química, los trabajos de Ampère sobre la electrodinámica y de Sophie Germain sobre las superficies elásticas.

El movimiento de crítica hacia la ciencia de la época napoleónica que empezó con la Restauración, ahora está reforzado por los éxitos obtenidos en óptica; hacia 1820, se ha convertido en una corriente de en-

tusiasmo que ve en la ciencia del período anterior, la imposición de doctrinas pre-concebidas, y de las cuales esta corriente se siente ahora liberada. Tal fue el caso del propio Fresnel, quien con agresividad emprendió nuevos desarrollos de su teoría, como fueron su explicación de la polarización y su introducción de la noción de "vibración transversal" de las ondas en un éter dotado de propiedades muy peculiares.

En general, se desarrolló la crítica a la adhesión irreflexiva a teorías. Se encuentra esta especie de reproche que consiste en denunciar que algo que ahora es evidente no debió haber escapado a la atención de sus predecesores⁽⁵⁸⁾. Al "programa" laplaciano se le oponen, por la vía de la crítica, nuevas teorías. Esta corriente revolucionaria sacaba su fuerza de las debilidades mismas de la ciencia napoleónica; de ella surgían, repudiando sus fundamentos y su modo de organización, las teorías ondulatoria de la luz, la atómica y la vibratoria del calor. Una vez que la teoría ondulatoria se había ganado su *droit de cité*, y siempre por la obra de Fresnel, esta teoría estuvo en posibilidad de librar nuevas batallas para lograr su "triumfo definitivo".

REFERENCIAS

1. Sobre algunos antecedentes de la introducción de las concepciones ondulatorias en la óptica de principios del siglo XIX se pueden consultar: Silliman R., "Fresnel and the Emergence of Physics as a Discipline", in *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 4 (1976); Kuhn, Th. "Tradition mathématique et tradition expérimentale dans le développement de la physique", in *Annales: Economies, Sociétés et Civilisations*, vol. 30 (1975) pp. 975-998; Frankel, E., "The Search for a Corpuscular Theory of Double Refraction: Malus, Laplace and Prize Competition of 1808", *Centaurus*, vol. XVIII, N° 3 (1974) pp. 223-246; Frankel, E., "J.B. Biot and the Mathematization of Physics in Napoleonic France", *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. VIII (1977) pp. 33-71; Cantor, G., "The Changing Role of the Young's Ether", *The British Journal for the History of the Science*, t. 5 (1970) pp. 44-62; Wood, A. *Thomas Young, Natural Philosopher, 1773-1829*, Cambridge University Press (1954); Whittaker, E., *A History of the Theories of Aether and Electricity*, vol. 1, London, Th. Nelson (1958); Saldaña, J.J., *La notion de révolution scientifique: le cas de l'introduction des conceptions ondulatoires dans l'optique du début du XIXe siècle*, (Tesis doctoral), Paris (1980); Saldaña, J.J., "La primera teoría corpuscular de la doble refracción: un caso de lucha por el 'poder' teórico", a publicarse en *Revista Me-*

- xicana de Física.
2. Empleamos esta denominación siguiendo a Robert Fox ("The Rise and Fall of Laplacian Physics", Historical Studies in the Physical Sciences, vol. 4 (1974) pp. 89-136), para designar el programa de investigación concebido principalmente por Laplace, para aplicar el modelo newtoniano de fuerzas actuantes a distancia entre partículas, al campo de las "moléculas" luminíferas, magnéticas, químicas, etc. V. también Saldaña, J.J., "La Primera Teoría Corpuscular...", op. cit.
 3. V.R. Fox, op. cit.; V.M. Crosland, The Society of Arcueil: A View of French Science at the Time of Napoleon I, London, Heinemann (1967).
 4. F. Arago, Oeuvres Completes, T. III (Eloge de Malus), Paris (1855) p. 137. La traducción fue realizada por el autor; salvo indicación en contrario, los textos fueron vertidos al castellano por el autor.
 5. Para un tratamiento detallado V. R. Fox, op. cit.; Saldaña, J.J., op. cit.
 6. Sobre este punto consúltese: Saldaña, J.J., "Epistemología, Historia y Sociopolítica de las Ciencias", Foro Universitario, N° 18.
 7. Cf. Crosland, M., op. cit.
 8. Ibid., p. 400.
 9. Proces-Verbaux de l'Académie Royale des Sciences (1816) pp. 41 y siguientes.
 10. Se trata de un artículo anónimo sobre el estado de las ciencias en Francia. El autor decidió el anonimato para protegerse, puesto que él era parte actuante en tal momento: "Lettres à un American sur l'Etat des Sciences en France", 1ère. lettre (l'Institut), Revue des Deux Mondes, tome vingt-unième, quatrième série, mars (1840) p. 793.
 11. Como la introducción del rigor en la que hasta entonces era la "filosofía experimental", mediante la matematización de la experiencia en materias como la electricidad, magnetismo, óptica, etc. V. R. Silliman, op. cit. y G. Bachelard, L'Activité Rationaliste de la Physique Contemporaine, Paris, Presses Universitaires de France (1951) p. 58-ss.
 12. V. M. Crosland, op. cit.
 13. F. Arago, op. cit., vol. III (biographie de Gay-Lussac) pp. 33-34.
 14. V. Saldaña, J.J., "La Primera Teoría...", op. cit.; también, Chappert, A., Malus et son Oeuvre, Paris, Vrin (1978).
 15. Op. cit., p. 409.
 16. Cf. Ibid., p. 332, passim.
 17. F. Arago, Histoire de ma Jeunesse, in Oeuvres, op. cit., p. 53.
 18. F. Lefort, "Un Savant Chrétien, J.B. Biot", Le Correspondant, XXXVI (1867) pp. 955-995.
 19. M. Crosland, op. cit., p. 74.
 20. V. Pierre Miquel, Histoire de la France, Paris, Fayard (1976) pp. 328-329.
 21. V. en tal sentido: "Présentation à sa Majesté Impériale et Royale, et son Conseil d'Etat, Du Rapport Historique sur le Progrès des Sciences Mathématiques et Physiques Depuis 1789", le 8 février 1808, Mémoires de la Classe des Sciences Mathématiques et Physiques de l'Institut de France, année 1808, Paris, Baudoïn imprimeur de l'Institut (1809) pp. 169-229, en donde Cuvier, a la sazón Secretario, declara la apertura para las ciencias del "Siècle de NAPOLEON".

22. Fue en 1800 cuando Thomas Young publicó los primeros resultados de sus investigaciones sobre la analogía entre el sonido y la luz. Partiendo del modelo de las ondas acústicas, hizo una comparación entre los tubos sonoros ("organ pipes") y los "anillos de Newton", señalando el carácter ondulatorio de ambos fenómenos. En el mes de noviembre de 1801, Young presentó una Bakerian Lecture en la que daba a conocer su descubrimiento del principio de las interferencias. Grimaldi (Phisico-Mathesis de Lumine, Bolonia, 1665, proposición XXII) había ya descrito un experimento en el que se obtiene un resultado paradójico: dos haces luminosos no adicionan sus efectos para iluminar más, sino, más bien, se destruyen. En su Memoria, Young daba una explicación de este fenómeno admitiendo la teoría ondulatoria —pues con los corpúsculos devenía imposible explicar la extinción de la luz—, y demostraba que los movimientos vibratorios pueden adicionarse o anularse, según que se encuentren en concordancia o en oposición de fase, pues si dos trenes de ondas luminosas que tienen un mismo punto de origen, pero que siguen caminos desiguales, y si la diferencia del camino es igual a un número impar de semi-período o de semi-longitud de onda, éstos llegarán a una pantalla en oposición de fase e interferirán. Si llegan en concordancia de fase la iluminación sobre la pantalla será de un máximo valor; para las diversas diferencias de fase la iluminación cambiará. Estos trabajos de Young, y otros que publicara en 1802 y en 1803, fueron recibidos con hostilidad. La respuesta de Young a los ataques que le fueron dirigidos, fue completamente ignorada. Young actuaba en un completo aislamiento. Cf. el libro sobre Young de A. Wood, op. cit., nota 1.
23. Agustin Fresnel, Oeuvres Completes, publiées par H. de Sernamont, E. Verdet y L. Fresnel, 3 volumes, tome premier, Paris, Imprimerie Impériale (1866) p. xxviii.
24. Ibidem.
25. Oeuvres, t. II, op. cit., p. 821.
26. Carta del 23 de septiembre de 1815, Oeuvres, t. I, op. cit., pp. 5-8.
27. Proces-Verbaux de l'Académie des Sciences, octubre 23 de 1815, op. cit.
28. Esta declaración se encuentra citada en la carta de Léonor Merimée a su sobrino A. Fresnel, del 1º de diciembre de 1815; Fresnel, Oeuvres, t. II, p. 833.
29. Carta de Fresnel a su hermano Léonor, del 18 de febrero de 1816, Ibid., p. 833.
30. Carta de Arago a Fresnel del 8 de noviembre de 1815, op. cit., t. I, pp. 38-39.
31. Ibid., pp. 41-60.
32. Leída en el Instituto el 26 de febrero de 1816. En Oeuvres, t. I, pp. 75-77.
33. Ibid., pp. 79-87.
34. Carta a su hermano del 19 de julio de 1816, Ibid., t. II, p. 835.
35. "Sur les Puissances Réfractives et Dispersives de Certain Liquides et des Vapeurs qu'ils Forment", leído en el Instituto el 11 de diciembre de 1815, Annales de Chimie et de Physique, vol. I (1816) pp. 1-9. Sobre la concepción corpuscular sostenida por Biot en el trabajo que realizó conjuntamente con Biot sobre la refracción gaseosa, véase: Saldaña, J.J., "La Primera Teoría Corpuscular Sobre...", op. cit.

36. Compte-Rendus de l'Académie des Sciences pour l'Année 1815, vol. II, (1811-1815) p. 78.
37. Procès-Verbaux, vol. VI (1816-1819), sesiones del 4, 11, 18 y 25 de marzo y del 15 de abril de 1816. Biot y Pouillet: "Sur la Diffraction de la Lumière" in Bulletin de la Société Philomatique (1816) pp. 60-61.
38. Para explicar la difracción, Newton hacía intervenir, al igual que con la reflexión y con la refracción, las acciones que ejercen los obstáculos (la arista de un cuchillo, p. ej.) sobre el rayo de luz, para desviarlos de su propagación en línea recta, lo que provocaría sombras más amplias que las previstas geométricamente, con divisiones en franjas. Newton intentó negar el fenómeno de la difracción reduciéndolo a otro, el de la refracción. Con ello intentaba neutralizar los argumentos en favor de la teoría ondulatoria formulados por Grimaldi y por Huyghens, y que se apoyaban justamente en que la difracción constituía "una forma diferente de propagación" de la luz. Newton la llama "inflexión", y la trata en el Lib. III, 1a. Parte de su Opticks.
39. Sobre este episodio, v. Saldaña, J.J., op. cit.
40. Carta a A. Fresnel del 6 de marzo de 1817, Oeuvres, vol. II, p. 842.
41. Durante la Restauración, Laplace pasó a ser un personaje muy impopular por sus títulos de nobleza, por su partido ultra-religioso y por su apoyo a la monarquía. Sobre la participación de Laplace en la Comisión del Premio sobre la difracción, Léonor Merimée describe en los siguientes términos la reacción de Ampère cuando se enteró de ello: "...il arriverait ce qui arrive toujours lorsqu'on avertit la République que le citoyen Laplace veut dominer, alors le peuple savant est plutôt incliné à prendre contre pied et à punir de l'ostracisme l'ambition du citoyen". Carta a A. Fresnel del 6 de marzo de 1817, Ibid.
42. Procès-Verbal de la Séance Publique du 17 mars 1817, recogida en el tomo IV de los Annales de Chimie et de Physique, p. 303; tomado de Verdet, Oeuvres de A. Fresnel, op. cit., p. xxxvii. Los Procès-Verbaux de los años 1816-1819 fueron publicados hasta 1915. En esta edición ver p. 165.
43. Véase en tal sentido la correspondencia dirigida a Fresnel; Oeuvres, vol. II, p. 841.
44. Para "...donner une théorie complète débarasée de cette hypothèse d'une différence d'une demi-ondulation, que je n'avais pas encore pu expliquer...", Oeuvres, vol. II, p. 845.
45. "Mémoire Couronné sur la Diffraction", in Oeuvres, vol. I, p. 248.
46. Ibid., p. 261.
47. Ibid., pp. 282-283.
48. Ibid., p. 249.
49. Procès-Verbal de l'Académie des Sciences, 1816-1819, en la edición de 1915, op. cit., p. 427.
50. "Rapport Fait par M. Araça a l'Académie des Sciences au Nom de la Commission...", publicado en los Annales de Chimie et de Physique, t. XI (1819) p. 5; reproducido en las Oeuvres de Fresnel, op. cit., t. I, p. 229.
51. Oeuvres, t. I, p. 850.

52. Ibidem.
53. V. Saldaña, J.J., La Notion de Révolution Scientifique, op. cit., 2a. parte, cap. V, secc. I.3.
54. Citado por Sernament en la Introduction de las Oeuvres de Fresnel.
55. "D'autres savants se mêlèrent a ces discussions (el enfrentamiento Biot-Arago de 1821); et comme Laplace, qui voulait que l'on fut géomètre avant tout, avait semblé prendre parti contre Arago, on lui suscita des ennemis de toutes parts, on grandit exorès Legendre pour le lui opposer, on tendit la main à tous ceux qui attaquaient les résultats contenus dans la Mécanique céleste, et l'on remua toute la presse libérale pour lancer contre nos anciennes gloires qui, disait-on, n'étaient plus que de vieilles idoles qu'il fallait briser. Parce que le géomètre Laplace était devenu le marquis de la Place, sous prétexte que d'autres académiciens faisaient partie de la Société de Bonnes-Lettres, ils furent, de par la charte, déclarés ignorants dans tous les journaux. C'est alors que, (...) le public commença à être admis à l'Académie ou il se fit le soutien des hommes qui ne voulaient pas briller uniquement par la science. Laplace fut réduit au silence, M. Boit s'absenta de l'Institut pendant plusieurs années, et M. Arago resta maître du champ de bataille" in "Lettres à un américain sur l'état des sciences en France", op. cit., pp. 789-799.
56. "Rapport Sur le Concours Relatif à la Diffraction", in Fresnel Oeuvres, vol. I, p. 236.
57. Compárese, por ejemplo, la declaración de Biot de 1816 que está contenida en su Traité: "la materialité de la lumière est hors doute" (vol. 3, p. 149), con la del Précis de Physique de 1821, en el que se afirma que sólo el principio de las interferencias puede dar cuenta de la difracción. Pero, agrega Biot, "...it serait souhaitable de donner une explication mécanique de ce phénomène d'après la théorie de la matérialité de la lumière" (pp. 472-473).
58. Fresnel declaró haber hecho observaciones sobre la polarización que eran completamente nuevas y que habían escapado a Malus y a Biot, quienes "parlènt tous deux du cas ou il se présente et établissent un principe qui n'est point d'accord avec les faits que j'ai observés..." Carta del 22 de octubre de 1817 a su hermano, en Oeuvres, op. cit., t. II, p. 843.