

¿Por qué a los científicos y a nuestros alumnos les cuesta tanto, a veces, cambiar sus ideas científicas?

Campanario, J. M.

*Grupo de Investigación en Aprendizaje de las Ciencias
Departamento de Física. Universidad de Alcalá*

Resumen

In this paper I try to relate the resistance to discovery and new ideas in science with the resistance by students to conceptual change in learning science. I analyze the reasons that have been identified by psychologist to explain the resistance by students to conceptual change. The topic of resistance to scientific discovery is studied in some detail and some reasons for which scientist resist scientific discovery are discusses. Some pedagogical implications are developed.

Keywords:

Misconceptions, conceptual change, resistance to scientific discovery.

1. Introducción

Un día de 1907 un escéptico Emil Fisher se dirigió al físico Otto Hann después de una conferencia para decirle que no se creía el contenido de la misma. ¿Qué pudo provocar la incredulidad del famoso químico?. Pues ni más ni menos que la afirmación de Hann de que era posible utilizar métodos basados en las propiedades radiactivas para reconocer propiedades químicas de sustancias en cantidades ínfimas [Barber, 1961]. El tiempo demostró que Fisher estaba equivocado y que Hann tenía razón. Podemos pensar que el episodio anterior es una simple anécdota sin importancia y que no refleja el modo de proceder habitual de los científicos, siempre abiertos a la novedad. Sin embargo, basta visitar

las páginas más oscuras de la historia de la ciencia para toparnos con episodios de este tipo y otros todavía más sangrantes. Así, por ejemplo, nos sorprendemos cuando descubrimos que Faraday puso pegas, como árbitro científico (referee) al artículo en que Joule propuso el equivalente mecánico de la caloría [Smith, 1976], nos quedamos atónitos ante Lord Kelvin rechazando la teoría de Bohr del átomo de Hidrógeno o dudando de que los rayos X fuesen algo más que una broma o de que fuese posible la producción de Helio a partir de la desintegración del Radio [Barber, 1961]. También el químico Kauffman creyó que el anuncio hecho por Bartlett de que había conseguido formar un compuesto con un gas noble era una broma [Kauffman, 1988, pag. 264]. Nos enteramos de que Coulomb tuvo que luchar contra el escepticismo que produjo el anuncio de su ley del inverso del cuadrado en la comunidad científica de la época [Heering, 1992], leemos las críticas del gran químico francés Berthelot a los "trucos" que utilizó Mendeleev para que la tabla periódica fuese realmente periódica [Brush, 1996] y nos encontramos con un Mayer víctima de depresiones mentales producidas por las dificultades que encontró para que un enunciado que hoy conocemos como la Primera Ley de la Termodinámica fuese aceptado tras un rechazo inicial en una prestigiosa revista [Campanario, 1993]. A estas alturas ya no debería extrañarnos que Joseph Henry se

resistiera a aceptar la teoría de Ampère de las corrientes magnéticas [Barber, 1961], de que uno de los dos Premios Nobel españoles en Ciencias, Ramón y Cajal, tuviera que luchar contra el desinterés de la comunidad científica hacia sus trabajos premiados posteriormente con el máximo galardón [Ramón y Cajal, 1984] o de que el otro, ante la amenaza de un rechazo, tuviese que persuadir a los editores de una revista de que un artículo sobre el trabajo que sería posteriormente premiado era lo suficientemente bueno como para ser publicado [Ochoa, 1980]. Como se explica más adelante, no fueron estos los únicos ganadores de premios Nobel que tuvieron que luchar contra el escepticismo de sus colegas.

Si seguimos profundizando en la parte oscura de la ciencia, empezaremos a descubrir más y más casos similares a los anteriores, algunos de los cuales se presentan y discuten en este trabajo. La abundancia y variedad de situaciones en las cuales los científicos tienen dificultades más o menos serias para cambiar sus ideas o para aceptar nuevos descubrimientos o puntos de vista es tal que algunos filósofos de la ciencia han hecho de estos obstáculos elementos relevantes de sus teorías y sistemas filosóficos y en sus modelos sobre el avance del conocimiento científico.

Por otra parte, una inspección superficial de cualquier revista de Didáctica de las Ciencias Experimentales nos enfrenta a un tipo de resistencia

a cambiar de ideas que tiene un origen diferente, pero que guarda algunas semejanzas con los casos de resistencia al descubrimiento en ciencias. Se trata de la resistencia de los alumnos a abandonar sus ideas previas y sustituirlas por concepciones acordes con las teorías científicas, un tema suficientemente conocido por la mayor parte de los profesores y por los investigadores en Didáctica de las Ciencias. ¿En qué medida son realmente semejantes estas situaciones?, ¿cuáles son las semejanzas y diferencias entre ambas situaciones?, ¿podemos aprender algo de la resistencia al descubrimiento en ciencia para luchar contra la resistencia al cambio conceptual en el aprendizaje de las ciencias? Estas son precisamente las preguntas que se desean plantear con este trabajo.

Las investigaciones que demuestran la persistencia de las ideas previas de los alumnos son un tema común en Didáctica de las Ciencias, por lo que no parece necesario abundar más en este tema. El lector interesado puede consultar algunas de las revisiones e integraciones más completas [Carrascosa y Gil, 1992]; [Hierrezuelo y Montero, 1991]; [Driver, Guesne y Thibergien, 1985]. En cambio, aunque existen, no son tantos los trabajos que intentan explicar las causas de dicha persistencia. Por esta razón, en la primera parte del artículo se revisan las posibles causas que distintos autores desde diversas posiciones teóricas sugieren para explicar la

resistencia al cambio de ideas por parte de los alumnos. A continuación se aborda el tema de la resistencia al descubrimiento y al cambio de ideas en ciencia y se analizan las formas posibles que puede adoptar esta resistencia. En una sección posterior se discuten las posibles causas de resistencia al descubrimiento científico. Por último se formulan algunas implicaciones didácticas y se obtienen algunas conclusiones generales.

2. La resistencia al abandono de las ideas previas

2.1. La resistencia al abandono de las preconcepciones: algunas causas aparentes

El descubrimiento de las preconcepciones de los alumnos originó una explosión sin precedentes en la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Todavía se siguen publicando numerosos artículos sobre este tema. Sirva como ejemplo del vigor de esta línea de investigación el dato de que la edición de 1994 de la recopilación de Pfundt y Duit recoge más de 3600 referencias [Pfundt y Duit, 1994]. Como es sabido, la resistencia al cambio en las ideas previas de los alumnos constituyen uno de los obstáculos más formidables que existen para el aprendizaje significativo de las ciencias [Pozo y Carretero, 1987]. La erradicación de

estas ideas previas y su sustitución por otras más adecuadas desde el punto de vista científico pasó casi a ser el objetivo explícito de un vasto programa de investigación y de muchos enfoques de enseñanza destinados a conseguir el “cambio conceptual”. En un intento por obtener una fundamentación epistemológica rigurosa de estos intentos, los investigadores en didáctica de las ciencias volvieron sus ojos a la historia y filosofía de la ciencia, donde encontraron alguna orientación en los puntos de vista de los filósofos de la ciencia sobre el cambio conceptual [Mellado y Carretero, 1993]; [Gil, 1993]. Otras orientaciones, como el aprendizaje como investigación, aunque no le conceden tanta importancia, reconocen un papel instrumental al cambio conceptual en el proceso de construcción de los conocimientos científicos por parte de los alumnos. De acuerdo con este enfoque, el objetivo de la enseñanza de las ciencias no sería ya eliminar las ideas previas de los alumnos como un fin en sí mismo, sino, más bien, favorecer el proceso de construcción del conocimiento científico por parte de los alumnos en un intento por resolver, fundamentalmente, problemas de interés [Gil, 1993]; [Gil, Carrascosa, Furió y Martínez-Torregrosa, 1991]. Según los defensores de este enfoque, las ideas previas desaparecerán durante el proceso de manera natural.

Diversos autores han ofrecido explicaciones variadas acerca de por qué es tan difícil eliminar las ideas previas de

los alumnos. Una primera causa de dificultad radica en el carácter casi siempre implícito de las ideas previas. A diferencia de las teorías formales, las ideas previas de los alumnos son más parecidas a “teorías-en-acción” [Pozo y Carretero, 1987] y se manifiestan únicamente cuando se utilizan. De hecho, muchas veces ni siquiera los propios alumnos son plenamente conscientes de sus ideas previas. Además, como consecuencia de la enseñanza tradicional, las ideas previas pueden coexistir perfectamente con las teorías científicas aprendidas manifestándose cada dominio de conocimientos en sus respectivos contextos: cotidiano o académico. Por otra parte, las ideas previas de los alumnos suelen llevar en muchas ocasiones a predicciones acertadas sobre la realidad. Así, por ejemplo, nuestra experiencia cotidiana es que para que un cuerpo se mueva hay que empujarlo. El uso continuado, inconsciente y exitoso de estas pautas de explicación contribuye a reforzarlas. Según Pozo y Carretero, existen determinados condicionantes biológicos derivados del proceso evolutivo humano que hace que estrategias cognitivas poco rigurosas desde el punto de vista formal, resulten muy útiles desde el punto de vista de la predicción y control del entorno que nos rodea [Pozo y Carretero, 1987].

Por otra parte, razones de economía cognitiva hace que sea más rentable mantener una cierta estabilidad en las formas de pensar. Según

Claxton el ser humano es esencialmente teórico y formula constantemente teorías explícitas o implícitas sobre su entorno [Claxton, 1987]. Estas teorías suelen involucrar conocimientos, impresiones, sentimientos y formas de razonar a diversos niveles, todo ello con un cierto grado de interconexión y no es posible cambiar una parte de la teoría sin afectar al resto. No cabe duda de que resulta “caro” en términos cognitivos elaborar teorías personales y que es preferible una cierta estabilidad de las mismas a un cambio continuo que nos dejaría indefensos ante un entorno cambiante que se mostraría imposible de aprehender.

El lenguaje desempeña un papel fundamental en nuestra forma de entender la realidad. El lenguaje está basado en el empleo de determinadas estructuras y un cambio en tales estructuras comporta un cambio en el lenguaje. Esto es, a grandes rasgos, lo que sucede cuando se abandona un lenguaje basado en la realidad cotidiana y se sustituye por un lenguaje científico. De nuevo, es difícil aprender un nuevo lenguaje que implica cambios no sólo en el sentido de los términos (ej: “trabajo”), sino en las propias estructuras y en las relaciones entre elementos (ej: en el lenguaje cotidiano ejercer una fuerza constantemente “cuesta trabajo”, mientras en Física, aplicar una fuerza no necesariamente implica que se realice trabajo).

Las ideas previas de los alumnos no constituyen un conjunto disperso, sino

que, con frecuencia, obedecen a determinadas pautas de razonamiento comunes que subyacen a una diversidad de ideas previas. Estas pautas espontáneas de razonamiento conforman grandes esquemas mentales que, debido a su generalidad, contribuyen a la resistencia al cambio. Entre estos esquemas y modos espontáneos de razonar destacan los que tienen que ver con la causalidad, que es quizá uno de los instrumentos mentales más poderosos de nuestra forma habitual de pensar. Así, por ejemplo, normalmente las causas están cerca (temporal y espacialmente) de los efectos y son parecidas o tienen alguna relación con los efectos que producen [Pozo, Sanz, Gómez y Limón, 1991]; [Salinas, Cudmani y Pesa, 1996]. Este tipo de grandes esquemas de razonamiento generales da como resultado, por ejemplo, que los alumnos encuentren grandes dificultades para admitir que un cambio local en un punto de un circuito eléctrico puede afectar a partes lejanas del mismo. Por otra parte, no hay que olvidar que muchas de las interacciones físicas son difíciles de percibir (por ejemplo, las fuerzas de rozamiento) y esto hace que los alumnos les asignen un status inferior o las ignoren completamente como posible causa de los fenómenos.

El carácter contraintuitivo de muchos fenómenos y explicaciones científicas contribuye a que no sean fácilmente aceptadas por los alumnos. No olvidemos que una de las condiciones que

Posner, Strike, Hewson y Gertzog formulan en su modelo del cambio conceptual es que la nueva concepción se acepte como plausible [Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982]. No cabe duda de que cuando los alumnos se enfrentan a los contenidos científicos tradicionales, muchas veces han de aceptar modelos y teorías contrarios a su intuición y a su forma habitual de pensar y razonar.

Ni siquiera el choque directo con la experiencia logra siempre erradicar las ideas previas. Otra de las condiciones "clásicas" para el cambio conceptual es el conflicto cognitivo, que se puede formular como un desacuerdo entre las propias ideas y la realidad o como una inconsistencia en las propias ideas. Una de las formas tradicionales más comunes de provocar este conflicto cognitivo consiste en enfrentar a los alumnos al resultado de determinadas demostraciones y experiencias. Como ejemplo de lo arraigada que está esta intuición en los profesores e investigadores cabe citar una revisión sobre el papel de los datos anómalos en el aprendizaje de las ciencias en la que se citan nada menos que 23 artículos en los que se defiende el uso de resultados experimentales que estén en conflicto con las ideas de los alumnos como un medio para que éstos adopten las ideas científicamente correctas [Chinn y Brewer, 1993; pag. 2]. Ahora sabemos que no es tan fácil producir un desacuerdo entre la realidad y las ideas de los alumnos y que es bastante común

que estos ignoren la evidencia contraria a sus expectativas. Especialmente relevantes son precisamente los resultados de la revisión de Chinn y Brewer sobre la actuación de los alumnos frente a datos de laboratorio anómalos [Chinn y Brewer, 1993]. Sólo una entre las siete pautas de conducta diversas que, según estos autores, pueden desarrollar los alumnos lleva al cambio conceptual. Por otra parte, es común que los alumnos presten atención a aspectos poco relevantes de las demostraciones y prácticas de laboratorio o que saquen conclusiones diferentes de las que pretende el profesor, una de las causas más importantes de que los alumnos no aprendan de las demostraciones [Roth, McRobbie, Lucas y Boutonné, 1997]. Parece claro que la experiencia contraria, por si misma, no provoca el cambio conceptual.

Tampoco parece que las inconsistencias en las propias ideas se detecten siempre. Así, por ejemplo, en nuestro grupo de investigación hemos podido comprobar como los alumnos de enseñanza secundaria e incluso de Universidad con frecuencia son incapaces de detectar contradicciones explícitas entre la segunda y la sexta frase de un texto con contenido científico [García-Arista, Campanario y Otero, 1996]; [Otero y Campanario, 1990]; [Otero, Campanario y Brincones, 1989]; [Otero, Campanario y Hopkins, 1992]; [Otero y Kintsch, 1992]. Otros autores demuestran que la detección de inconsistencias no es algo que ocurra

automáticamente [Baker, 1985]; [Baker, 1979], lo cual plantea nuevas dudas sobre la viabilidad del conflicto entre ideas como paso previo para el cambio conceptual.

Por último, no hay que olvidar el efecto de los factores afectivos en la resistencia al cambio de ideas. Como señala Duit, el cambio desde las ideas previas a las concepciones científicas correctas comporta una serie de consecuencias afectivas negativas tales como la renuncia a una construcción propia, la adquisición de una nueva forma de pensar y de una lógica ajena y la evidencia de que se ha estado viviendo en el error [Duit, 1991]. Además, estas consecuencias afectivas negativas han de ser, por fuerza, bastante frecuentes dado que las ideas previas son ubicuas y afectan a casi todos los contenidos escolares. Estos aspectos afectivos no siempre se tienen en cuenta cuando se planifica una enseñanza orientada al cambio conceptual aunque no cabe duda de que desempeñan también su papel en la resistencia al mismo.

La relación anterior, sin pretender ser exclusiva, puede ayudar a entender por qué resulta tan difícil que los alumnos aprendan la ciencia "correcta". Ciertamente, el profesor de ciencias tiene que hacer frente a una especie de "conspiración cognitiva" en la que todo parece dispuesto contra su trabajo [Pozo, 1987]; [Campanario y Otero, 1997]. Incluso hay autores que cuestionan la mera existencia del cambio conceptual. Así, por ejemplo, según

Linder, el esquema que propugna el cambio conceptual y metodológico es extremadamente simple: se toma algo nuevo y se abandona lo viejo [Linder, 1993]. No existe ninguna posibilidad de coexistencia. Sin embargo, la Psicología Cognitiva nos recuerda que el **contexto** desempeña un papel fundamental en la cognición y que concepciones diversas e incluso inconsistentes pueden activarse y ser adecuadas dependiendo del contexto. Incluso en la propia ciencia coexisten modelos inconsistentes dependiendo del contexto. Quizá uno de los ejemplos más claro sea el de la dualidad onda-partícula. Los propios científicos utilizan un conocimiento formal y un conocimiento informal dependiendo del contexto en el que se hallan [Linder, 1993], lo cual plantea de nuevo la necesidad de encontrar límites al cambio conceptual, tal como se plantea en visiones tal vez excesivamente simplistas.

2.2. Otras situaciones que ilustran la resistencia al cambio de ideas

Existen otras evidencias que demuestran que el cambio de ideas es no es siempre un proceso espontáneo y que, como se ha señalado más arriba, la resistencia al cambio un rasgo esencial del sistema cognitivo humano. Esta evidencia proviene de campos diversos que han sido objeto del estudio de los psicólogos.

Por una parte existe evidencia en psicología social de la resistencia al cambio de ideas. Una de estas fuentes de evidencia proviene del estudio del comportamiento de los jurados en los tribunales de justicia. Parece comprobado que las primeras impresiones sobre los casos suelen ser más influyentes que las posteriores. Una vez formada una idea previa del caso es difícil que ésta se sustituya por otra idea y los abogados saben muy bien que las pruebas contrarias que aparecen en una fase tardía de los juicios no son siempre tenidas en cuenta. Además, es bien conocido que los testimonios contrarios y negativos son, en general, menos eficaces que los testimonios positivos en los que se argumenta a favor de algo.

En el área de comprensión del lenguaje y de comprensión de textos existen otras evidencias de que la actualización de los modelos mentales que se forman durante el procesamiento de un texto puede llegar a ser difícil. Así, por ejemplo, Wilkes y Leatherbarrow encontraron que los lectores seguían utilizando para responder determinadas preguntas información previamente leída en un texto y que había sido corregida o desacreditada por mensajes posteriores, a pesar de que los sujetos eran capaces de recordar la corrección [Wilkes y Leatherbarrow, 1988]. Cuando la información previa era relevante para entender el contenido del texto ni siquiera una contradicción explícita fue suficiente

para que los sujetos dejaran de utilizarla para contestar preguntas de inferencia. Johnson y Seifert encontraron que cuando la información que se corregía tenía una estructura causal era más probable que los sujetos siguiesen utilizándola a pesar de las correcciones posteriores [Johnson y Seifert, 1994]. Van Oostendorp y Bonebakker han estudiado la influencia de algunos factores en el uso que hacen los sujetos de información corregida o desacreditada para contestar preguntas de comprensión. De nuevo, no siempre es fácil para los sujetos dejar de utilizar información corregida o desacreditada. Según sus resultados, un modelo situacional más consistente por parte de los lectores da lugar a una mayor disposición para procesar cambios y correcciones [van Oostendorp y Bonebakker, 1996]. Además, en contra de lo esperado, los cambios en la información poco relevante fueron más fácilmente aceptados que los cambios relativos a la información de alto nivel [van Oostendorp, 1996]. Igualmente, hemos podido constatar que cuando determinada información científica es reforzada indirectamente, los sujetos tienen mayor tendencia seguir utilizándola para contestar preguntas de comprensión, a pesar de que dicha información es corregida antes de que los sujetos contesten las preguntas [Campanario y van Oostendorp, 1996]. Otros autores han encontrado que es difícil cambiar las impresiones iniciales que se reciben después de leer o

escuchar noticias periodísticas [Findahl y Höijer, 1981]; [Larsen, 1983].

Ciertamente, la resistencia al cambio de ideas puede llegar incluso al autoengaño. Esta situación no es extraña incluso en los sujetos adultos y cuando se produce estos se resisten a cambiar sus ideas previas o a adoptar una hipótesis determinada a pesar de que todos los datos disponibles apuntan en la dirección del cambio de ideas o avalan la hipótesis en cuestión. Este tipo de pautas de pensamiento parecen estar ampliamente extendidas y han sido objeto recientemente de un debate en la revista electrónica de psicología *Psychology* [Mele, 1996].

3. La resistencia al cambio de ideas por parte de los científicos

3.1. La resistencia al cambio de ideas como un elemento constitutivo de la propia ciencia

Las concepciones comunes sobre la ciencia destacan el carácter abierto de esta actividad y el énfasis que ponen los científicos en el análisis sereno de las contribuciones y en la valoración sin prejuicios de cualquier contribución. Junto a estas ideas simplistas, la ciencia se suele concebir como una búsqueda incesante de la verdad en

una tarea que consiste básicamente en ampliar el dominio conocido [Roth y Roychoudhury, 1994] e incorporar nuevas observaciones y datos que encajen en nuevas teorías [Hammer, 1994]. Además, uno de los rasgos que se suele asociar casi intuitivamente a la ciencia es su afán por lo nuevo. Este afán por lo nuevo se ilustra en la formulación explícita que muchas revistas científicas hacen en sus instrucciones para el envío de originales y en la que se anima la publicación de nuevos resultados y puntos de vista. Sin embargo, son muchos los ejemplos históricos que ponen en duda las visiones simplistas y las concepciones comunes sobre la ciencia y sobre su capacidad para asimilar, sin problemas, precisamente nuevos datos, hechos, observaciones y teorías. En los últimos años diversos autores han investigado episodios de claro dogmatismo en ciencia que ilustran la resistencia al descubrimiento y, en ocasiones, al cambio conceptual como un rasgo inherente a la propia ciencia [Horrobin, 1990]; [Nissani, 1995]; [Campanario, 1993]; [Campanario, 1995]; [Campanario, 1996]; [Armstrong, 1982].

Lo primero que cabe preguntarse cuando se aborda el tema de la resistencia al descubrimiento y a las nuevas ideas en ciencia es cómo es de intensa dicha resistencia y cual es su origen. En la historia de la ciencia existen ejemplos notables de resistencia a nuevas teorías, descubrimientos o

puntos de vista que tienen su origen en personas o instituciones ajenas a la ciencia y muchas veces por motivos “*non santos*”. El caso de Galileo es, quizá uno de los más típicos del folklore científico. La activa oposición pasada y presente desde determinadas concepciones políticas y religiosas contra la teoría de la evolución es otro ejemplo de este tipo de **resistencias externas**. Es interesante hacer notar que incluso hoy día la teoría de la evolución se enseña en diversos estados de los Estados Unidos en pie de igualdad con la concepción creacionista.

Más allá de estos y otros casos similares, cabe preguntarse en qué medida existe **resistencia interna** al descubrimiento y al cambio conceptual en el seno de la propia ciencia. La resistencia que estamos tratando es un tipo de resistencia que sobrepasa los límites del lógico **escepticismo** inicial, esperable y deseable y que es propio de la actividad científica. Ciertamente, este **escepticismo** es una de las normas éticas básicas que posibilitan el desarrollo de la propia ciencia y constituye una barrera frente al error [Merton, 1985].

La investigación en este terreno no es nada fácil debido a que este tipo de episodios suele formar parte de los aspectos “*malditos*” en la historia tradicional de la ciencia. Muchos científicos que han tenido que luchar contra el escepticismo de sus colegas se resisten a dar a conocer sus experiencias por lo que las evidencias suelen estar disper-

sas y recogidas en forma de anécdotas, recensiones biográficas y narraciones más o menos fiables. A veces los científicos callan durante años los duros episodios vividos en la lucha por dar a conocer sus descubrimientos y solo los dan a conocer cuando la comunidad científica los ha aceptado plenamente. Cabe citar como ejemplo los trabajos de la bióloga Rosalind Yallow, premiados con el Nobel y rechazados inicialmente por la prestigiosa revista científica *Journal of Clinical Investigation*. En su discurso de aceptación del Premio Nóbel, Yallow citó con nombre y apellidos al responsable de tan desafortunada decisión y mostró públicamente la carta que recibió en su día de la revista y que había guardado cuidadosamente para una ocasión propicia [Yallow, 1982]. Podemos conocer los casos de resistencia al descubrimiento que finalizaron con la victoria de la nueva concepción o con la aceptación del nuevo descubrimiento, pero no podremos conocer nunca aquellos casos en que ideas originales e innovativas que fueron eficazmente suprimidas para siempre. Como señala Polyanni, “*la historia de la ciencia solo registra los finales felices*” [Polyanni, 1958, p. 149].

Las dificultades anteriores pueden explicar, en parte, por qué este tipo de episodios, a pesar de su abundancia, no han recibido una atención profunda por parte de investigadores y filósofos de la ciencia. Como se ha indicado más arriba, algunas teorías en filosofía de

la ciencia hacen de la resistencia al cambio conceptual y al descubrimiento en ciencia elementos importantes de sus explicaciones acerca del desarrollo de la ciencia, siempre sin descender a detalles demasiado concretos. A continuación se revisan algunas de estas concepciones.

Kuhn concibe el desarrollo de las disciplinas científicas como una sucesión de períodos de **ciencia normal** y períodos de **revolución científica** [Kuhn, 1971]. Durante los períodos de ciencia normal domina un determinado paradigma, entendido este como un conjunto de creencias, valores y técnicas compartidos por una comunidad científica. En épocas de crisis el paradigma dominante es cuestionado y sustituido. Esta sustitución implica algo más que un mero cambio de teoría ya que, según Kuhn, los fundamentos, los métodos, las aplicaciones e incluso la concepción del mundo que subyacen en el nuevo paradigma son ahora radicalmente diferentes a las propias del paradigma anterior (son inconmensurables). Incluso la comunicación misma entre los defensores de ambos puntos de vista resulta difícil. El cambio de un paradigma a otro no tendría lugar debido únicamente a factores racionales, sino, en gran parte, debido a factores tales como la implicación de jóvenes científicos y la capacidad de persuasión de los proponentes del nuevo paradigma. Estos factores y otros similares harían de la ciencia, en

la visión kuhniana, una actividad en cierta medida parecida a la política [Meana, 1996]. Según Kuhn, en la aceptación de un nuevo paradigma influyen factores tales como la capacidad de convicción de los defensores de estas ideas y su habilidad para ocupar los puestos académicos más influyentes para, desde ahí, difundir su nuevo punto de vista. En su descripción del cambio de paradigma, Kuhn cita la conocida frase atribuida a Planck, según la cual, una nueva verdad no se impone porque finalmente convenza a sus oponentes, sino porque estos desaparecen progresivamente y son sustituidos por una nueva generación que se ha educado en el seno del nuevo paradigma. No es raro, pues, que el cambio de un paradigma viejo a uno nuevo resulte difícil y encuentre resistencia por parte de los defensores del viejo orden.

Toulmin concibe el cambio conceptual como un proceso de **generación y selección** de conceptos en aras a los ideales explicativos de una disciplina. Estos ideales explicativos determinan en último término la dirección en que debe progresar una disciplina determinada. En el desarrollo de el proceso de generación y selección, desempeñan un papel fundamental las “*generaciones de jueces*” y las “*autoridades*” científicas del momento que actúan siempre en aras de la disciplina, de acuerdo con los ideales explicativos. El avance de una disciplina dada no siempre es fácil y Toulmin llama la

atención sobre una reacción común en muchos científicos que él denomina "*odio profesional*" que se traduce en una reacción fuertemente negativa de la **nomenclatura** científica hacia los defensores de teorías heterodoxas [Toulmin, 1977]. Los proponentes de las nuevas concepciones y puntos de vista han de luchar, por tanto, contra los prejuicios de la vieja guardia que domina la disciplina.

Mientras el falsacionismo poco sofisticado de Popper mantiene que el cambio de ideas tiene lugar cuando se comprueba que estas son falsas, Lakatos sostiene que el cambio no es tan inmediato y sólo ocurre cuando existe un **programa de investigación** mejor [Lakatos, 1983]. La novedad de Lakatos es que propone tres criterios para decidir si un programa de investigación es mejor que otro [Lakatos, 1983]:

- a) El nuevo programa debe explicar todo lo que explicaban las teorías anteriores.
- b) El nuevo programa debe tener un exceso de contenido empírico con respecto al anterior. Ello se traduce en que el nuevo programa debe predecir hechos nuevos que el anterior no predecía.
- c) El nuevo programa debe ser capaz de orientar a los científicos para que puedan comprobar empíricamente una parte al menos del nuevo contenido que ha sido capaz de predecir.

De esta manera, un proceso que, según el punto de vista de Popper debería

producirse casi automáticamente ante la nueva evidencia experimental, requiere de unas condiciones que hacen de él un proceso sumamente complejo.

Desde los estudios actuales sobre comunicación en ciencia se argumenta también en favor de la dificultad para el cambio de ideas. Según algunos autores, los científicos deben **persuadir** a sus iguales de que sus aportaciones son valiosas. Ello puede hacerse de diversas maneras, una de las cuales es mediante el uso estratégico de las citas bibliográficas. Una función ceremonial de las citas bibliográficas sería la de otorgar **autoridad** a las afirmaciones y puntos de vista del autor que hace la cita. Cuando un autor cita un documento anterior no solo ayuda a localizar la información contenida en él, sino que utiliza dicha información como apoyo para sus propias ideas. Las referencias sirven, pues, como medio de persuasión [Leydesdorff, 1987] [Garfield, 1989]. Un autor que desea ganar credibilidad para sus puntos de vista puede hacer referencia a trabajos previos que confirmen los suyos [Vinkler, 1987] o puede citar puntos de vista de autores prestigiosos para reforzar su argumentación. Incluso un científico que haya conseguido resultados científicos importantes debe persuadir de alguna manera de la relevancia de los mismos al resto de la comunidad, algo que no siempre es fácil, y para ello también puede servir de referencias a trabajos previos. Las citas a trabajos anteriores evitan el tener que repetir

argumentaciones o justificar afirmaciones [Ravetz, 1971, pag. 256-257]. En la realidad anterior subyace la concepción de que la aceptación de nuevas ideas no es un proceso fácil.

Como se ha indicado más arriba, en los últimos años se han abierto nuevos frentes de investigación y se han comenzado a publicar trabajos en los que se estudian e identifican casos concretos de resistencia a los nuevos descubrimientos y al cambio conceptual en ciencia. Este nuevo enfoque permite un análisis más detallado de las motivaciones y circunstancias que rodean los episodios de resistencia al descubrimiento y al cambio conceptual en ciencia, a la vez que hace posible una clasificación de los casos en diversas categorías.

3.2. Las formas de resistencia al descubrimiento científico

En este apartado se esboza una clasificación en dos categorías amplias de las diversas formas de resistencia al descubrimiento científico que se pueden identificar en los estudios pasados en historia de la ciencia y en los estudios actuales en comunicación y dinámica de la ciencia.

a. La resistencia activa

Quizá la forma más abierta, visible y, tal vez, más escandalosa que toma la resistencia al cambio conceptual y al

descubrimiento científico es la oposición directa a los mismos. La Historia de la Ciencia registra algunos casos que podríamos denominar **clásicos** porque pertenecen a épocas pasadas y aparecen con frecuencia en las descripciones tradicionales de la ciencia. Los casos clásicos se refieren casi siempre a algunas de las teorías más influyentes en ciencia. Entre los casos clásicos más conocidos de resistencia al cambio conceptual destaca la resistencia al paso de las concepciones geocéntricas a las heliocéntricas. Es posible identificar otros casos de resistencia en el paso de la mecánica medieval a la nueva física. Así, por ejemplo, el éxito de la teoría de la Gravitación Universal de Newton no fue tan inmediato como algunos libros de texto hacen suponer. De hecho, todavía en 1769 (casi un siglo después de la formulación inicial) se llevaban a cabo experimentos para decidir entre la teoría de Newton y otras teorías en competencia [Evans, 1996]. Otro caso tiene que ver con el abandono de las concepciones sustancialistas del calor y la conceptualización del mismo como un proceso esencialmente mecánico, un proceso difícil [Nissani, 1995; pag. 174]. Igualmente, la Royal Society rechazó un trabajo de Waterson sobre la teoría molecular de los gases. Esta teoría permaneció en el olvido hasta que Lord Rayleigh la rescató 45 años después [Campanario, 1993]. En el campo de la Termodinámica cabe citar el caso de R.J. Mayer, quien formuló un enuncia-

do de la Primera Ley de la Termodinámica que fue rechazado en la revista *Annalen der Physik*. Como consecuencia, este científico se vio en la obligación de publicar sus resultados en oscuras revistas de Química [Colman, 1982]. Otro ejemplo clásico es la resistencia a abandonar la teoría del flogisto. Entre otros casos célebres de resistencia a las nuevas ideas cabe citar la resistencia a la hipótesis de Avogadro, los problemas que encontró Arrhenius con su teoría de la disolución electrolítica (que estuvo a punto de costarle el aprobado en su tesis doctoral) y la abierta hostilidad de los geólogos contra la teoría de Wegener del desplazamiento continental, una teoría que hoy se enseña en nuestras escuelas [Nissani, 1995].

La existencia de estos ejemplos clásicos que pertenecen al folklore científico tradicional y el uso que se hace de ellos en los libros de texto tradicionales contribuyen a transmitir a los alumnos muchas veces una visión inadecuada de la ciencia, según la cual ésta consiste en una lucha en la cual la verdad siempre acaba por triunfar sobre la ignorancia y las concepciones correctas siempre vencen a las erróneas [Brush, 1974]. Este triunfo sería posible, precisamente, debido a la talla intelectual de los grandes genios de la ciencia. Algunas descripciones populares sobre la ciencia y los científicos destacan precisamente el carácter **visionario** o **heterodoxo** de los grandes genios que construyeron la ciencia.

Junto con los casos "clásicos", en la historia reciente de la ciencia pueden identificarse numerosos ejemplos de resistencia activa al descubrimiento científico. Estos ejemplos se refieren a teorías, métodos, observaciones o reinterpretaciones que, aunque han sido ampliamente reconocidos y muy influyentes, no tienen que ver directamente con las grandes revoluciones científicas, como los casos que se han presentado. Esta resistencia toma en muchas ocasiones la forma de rechazo a la publicación de artículos en las revistas académicas.

Como es sabido, las revistas científicas tienen comités editoriales y árbitros externos que evalúan la validez, originalidad y rigor de los artículos que reciben para su publicación. Estos expertos suelen ser figuras elegidas entre los miembros más prestigiosos de las distintas disciplinas. En diversos estudios en el área de comunicación en ciencia hemos podido constatar que en muchas ocasiones los científicos han encontrado gran oposición y enormes dificultades para publicar descubrimientos que serían muy influyentes en su campo o que serían reconocidos con posterioridad. En ocasiones, estos descubrimientos constituyen el centro de un frente de investigación posterior. Esto implica que el desarrollo de nuevas subespecialidades científicas podría haberse visto seriamente perjudicado de no haber sido por la persistencia de los autores de los descubrimientos implicados [Campanario, 1995]; [Campanario, 1996]. En la tabla 1 se recogen algunos ejemplos de resistencia inicial a la publicación de artículos científicos que serían muy citados o resultarían muy influyentes en sus respectivas disciplinas o especialidades [Campanario, 1993]; [Campanario, 1995]; [Campanario, 1996].

Más escandalosos son los casos de resistencia al descubrimiento científico relativos a descubrimientos que, en su día, fueron premiados con el más alto galardón científico: el Premio Nobel. En la tabla 2 se recogen casos de descubrimientos que serían premiados en su día con el Premio Nobel y que fueron inicialmente rechazados por los editores y árbitros de las revistas científicas [Campanario, 1995]. Es interesante saber que la prestigiosa revista *Nature* ha tenido el dudoso honor de rechazar al menos tres artículos científicos que contenían trabajos por los que sus autores recibirían posteriormente el máximo galardón científico. Los autores de dichos artículos eran Hans Krebs (Medicina o Fisiología), Pavel Alekseevich Cerenkov (Física) y Harmut Michel (Medicina o Fisiología).

La resistencia al descubrimiento científico no parece ser exclusiva de la ciencia. Un trabajo reciente demuestra cómo en el área de ciencias económicas algunos de los artículos más influyentes en los puntos de vista actuales en esta disciplina, así como un artículo conteniendo parte del trabajo que sería premiado posteriormente con el Premio

Nóbel en Ciencias Económicas fueron rechazados en su día por las revistas académicas [Gans y Sheperd, 1994]. Es muy posible que en disciplinas llamadas "blandas" donde los diferentes paradigmas coexisten entre sí y donde la fragmentación en escuelas y tendencias es mayor que en las disciplinas llamadas "duras", los episodios de resistencia al descubrimiento y al cambio conceptual sean más frecuentes. Sin embargo, estamos todavía en los inicios de un nuevo marco general de investigación y no tenemos elementos suficientes para sustentar esta hipótesis.

b. Falta de atención y reconocimiento tardío

Stent, un investigador en el área de biología molecular introdujo la idea de **descubrimiento prematuro** para referirse a un descubrimiento que no puede ser debidamente apreciado en el momento en que se produce porque no encaja en los marcos conceptuales propios de una disciplina determinada [Stent, 1972]. Debido a ello, los autores de los descubrimientos prematuros encuentran alguna oposición activa por parte de sus colegas científicos o, con más frecuencia, ven como sus aportaciones son incomprendidas o ignoradas por el resto de la comunidad científica. Existen bastantes ejemplos que demuestran que algunos de estos descubrimientos prematuros sólo son debidamente valorados por el resto de

Tabla 1. Algunos ejemplos de científicos que encontraron dificultades para publicar artículos y trabajos científicos que serían muy influyentes o citados en sus respectivas disciplinas o que serían ampliamente reconocidos con posterioridad [Campanario, 1993]; [Campanario, 1995]; [Campanario, 1996].

Científico	Tema/area	Año	Comentarios sobre los artículos rechazados
H. Lineweaver	Cinética de enzimas	1934	El artículo rechazado inicialmente ha sido el artículo más citado publicado jamás en la revista <i>Journal of the American Chemical</i>
R.H. Michell	Fosfolípidos	1975	El artículo rechazado es uno de los 100 artículos más citados en la historia de la ciencia
J. Messig	DNA	1981	El art. fue rechazado inicialmente por ser demasiado "trivial". Hoy se reconoce el trabajo como un clásico
J.R. Kebabian	Receptores dopaminicos	1979	Un referee opinó que el artículo no debería ser publicado "en ninguna revista"
L. Hayflick	Cultivos celulares	1961	Uno de los 100 artículos más citados en la historia de la ciencia
T.J. Lindell y otros	Inhibición de RNApolimerasa	1970	Un artículo rechazado inicialmente por <i>Nature</i> , aceptado tras algún debate y... vuelto a rechazar por <i>Nature</i> . Publicado finalmente en la revista <i>Science</i>
Perlman	Adenosina	1968	Tres revistas rechazaron dos artículos sobre el tema que contradecían el punto de vista imperante y que acababan por convertirse en clásicos en su área
T. Maitman	Primer láser	1960	El art. donde maitman daba a conocer el 1º láser fue rechazado por la revista <i>Physical Review Letters</i> por "no contener ninguna contribución significativa a la Física básica"
H. Eyring	Teor. del complejo activado en las reac. químicas	1935	La teoría expuesta en el artículo rechazado inicialmente se enseña ahora en cualquier libro de Química General
B.P. Belusov	Reacc. químicas oscilantes	1959	Las reacciones químicas oscilantes parecían inicialmente ir contra los principios de la Termodinámica. Hoy constituyen una de las áreas de más desarrollo en Química
M. Maruyama	Retrolímenación en divers. procesos	1963	Un artículo de este autor fue rechazado por diez revistas científicas antes de ser publicado y convertirse en un clásico de la disciplina
R.J. Williams	Una de las vitaminas B	1919	La forma de investigar las vitaminas no fue considerada "correcta" dado que la moda entonces era investigar con animales
M.J. Bertridge	Mensaj. celulares	1983	El art. inicial, rechazado recibió posteriormente 4 prestig. premios científicos internac.
J.D. Rowley	Translocación de cromosomas	1973	El art. rechazado inicialmente por el <i>New England Journal of Medicine</i> se convirtió en el más citado de <i>Annales de Génétique</i>
G.M. Gorman	Expresión de proteínas	1982	El artículo rechazado inicialmente por <i>Nature</i> , se convirtió en el trabajo más citado de la revista <i>Molecular and Cellular Biology</i> que lo aceptó

Tabla 2. Científicos que recibieron el Premio Nobel y que sufrieron el rechazo de los trabajos en que describían sus descubrimientos por los editores de las revistas [Campanario, 1995].

Científico	Tema
S. Ochoa	Ácidos nucleicos
H. Krebs	Ciclo del ácido cítrico (ciclo de Krebs)
R. Yalow	Radioinmunoensayos
H. Michell	Procesos fotosintéticos
P.A. Cerenkov	Radiación Cerenkov
A. Kornberg	Síntesis del DNA
H. Taubes	Complejos inorgánicos
S. Altman	Ribozimas
M. Gell-Mann	Quarks
K. A. Müller J. G. Bednorz	Superconductividad a alta temperatura
G. Binning H. Rohrer	Microscopía de efecto túnel
W.A. Fowler	Nucleogénesis

la comunidad científica cuando ha transcurrido un tiempo considerable desde su publicación inicial. El sociólogo Stephen Cole llamó a este fenómeno **reconocimiento tardío** [Garfield, 1989a; pag. 3]. Quizá el ejemplo clásico más conocido de este fenómeno es el de los trabajos de Mendel en genética. Otro ejemplo menos conocido, pero sorprendente y que mereció un estudio detallado en la prestigiosa revista *Science* lo constituyen las ecuaciones hidrodinámicas de Da Rios que, según Ricca, fueron descubiertas al menos tres veces de manera sucesiva e independiente en este siglo [Ricca, 1991]. Una suerte parecida corrió la teoría de Polanyi de

la absorción de gases por sólidos que, propuesta en 1914, encontró un rechazo unánime, de manera que fue olvidado hasta que fue redescubierta en la década de los 50, en que, a la luz de nuevos puntos de vista derivados de la Mecánica Cuántica, encontró al fin un marco conceptual [Stent, 1972; pag. 86]. Por último, el famoso trabajo de Carnot que estableció las bases de la Termodinámica fue ignorado hasta que Joule lo rescató veinte años después [Nissani, 1995, pag. 172].

Una herramienta poderosa que se ha utilizado en los últimos años para detectar casos de reconocimiento tardío son los índices de citas [Garfield, 1989a]; [Garfield, 1989b]; [Garfield,

1990]. Como es sabido, los índices de citas recogen y contabilizan las citas que aparecen al final de los artículos científicos. Si un artículo cita a otro artículo o a cualquier tipo de documento, se supone que existe algún tipo de relación conceptual entre ambos. Por otra parte, las citas que recibe un documento se suelen considerar como un índice que refleja, en cierta medida, el impacto y la utilidad que ha tenido dicho documento para el resto de la comunidad investigadora. Los índices de citas pueden utilizarse para estudiar cuantitativamente el fenómeno de **reconocimiento tardío**. Así, por ejemplo, un artículo típico que sufre reconocimiento tardío recibe muy pocas citas o incluso permanece sin ser citado durante los años inmediatamente siguientes a su publicación. Una vez que transcurre un cierto tiempo la comunidad científica empieza a reconocer el valor del artículo o su utilidad y ello se refleja en un incremento rápido y notable de las citas que recibe, señal de que ha sido “descubierto” por la comunidad científica [Garfield, 1990]. Es preciso hacer notar que los artículos que sufren este fenómeno se suelen publicar en revistas que tienen amplia difusión en sus respectivas disciplinas, por lo que no cabe atribuir la ignorancia a dificultades para acceder a los artículos. Pues bien, utilizando este enfoque se han podido identificar diversos artículos científicos que sufrieron este tipo de resistencia silenciosa al descubrimien-

to. En la tabla 3 se relacionan algunos ejemplos seleccionados.

3.3. Las causas de la resistencia al cambio de ideas en ciencia

Según Mahoney, los ejemplos anteriores y otros del mismo tipo ponen en cuestión algunos de los rasgos que suelen atribuirse a los científicos quizá algo ingenuamente [Mahoney, 1979]. Entre estos atributos cabe destacar la **apertura mental**, la **objetividad**, y la **racionalidad** que deberían llevar a la emisión de juicios no sesgados por ideas propias. Desde el área de la enseñanza de las ciencias es interesante profundizar en la causas profundas que subyacen en los episodios de resistencia anteriores con el fin de analizar el supuesto paralelismo que existe entre ambos dominios ¿Cuales son, pues, las causas últimas de la resistencia al descubrimiento y al cambio conceptual en ciencia?. Podemos recoger aquí algunas de las hipótesis que se proponen en la literatura especializada.

a. Error como descripción de la resistencia

Ante los episodios como los que se han descrito en los apartados anteriores, una primera explicación es simplemente que se produce un error de apreciación. Los científicos responsa-

Tabla 3. Ejemplos de científicos autores de artículos científicos que experimentaron el fenómeno de reconocimiento tardío [Garfield, 1989a]; [Garfield, 1989b]; [Garfield, 1990]

Autores	Area/Tema	Año	Comentarios
H.M. Irving H.S. Rossotti	Curvas de complejos de metales	1954	
S. Weinberg	Física nuclear (leptones)	1967	El trabajo resultaría galardonado con el Premio Nobel
J.G. Oldroyd	Polímeros	1950	
R.P. Ahlquist	Receptores adrenotrópicos	1948	Además de permanecer ignorado tras su publicación, el artículo fue rechazado por una revista antes de publicarse definitivamente
T.F. Anderson	Técnicas de microscopía electrónica	1951	El artículo fue muy poco citado durante un periodo de 19 años
G. Scatchard	Interacciones proteínas-iones	1949	Uno de los 100 artículos más citados en la historia de la ciencia. Durante años no se le prestó atención
D.I. Armon	Fisiología vegetal	1949	Uno de los 100 artículos más citados en la historia de la ciencia. Durante años permaneció ignorado
H.S. Frank	Electrolitos en disolución acuosa	1945	

bles de la resistencia no serían lo suficientemente competentes y tomarían decisiones inadecuadas debido a su incapacidad o falta de juicio para apreciar el valor de las contribuciones que juzgan. Esta hipótesis resulta poco satisfactoria porque, sin duda, es más una descripción que una explicación: nos gustaría saber porqué un científico elige una teoría “errónea” y rechaza una “correcta”. Sin embargo, incluso un investigador tan crítico como el editor médico David Horrobin, defiende abiertamente este tipo de explicación cuando afirma que “*existe evidencia de que ... individuos muy respetados que ocupan la cúpula de muchos puestos académicos son, en el mejor de los casos,*

ignorantes y poco cuidadosos y, en el peor de los casos, realizan una obstrucción deliberada” [Horrobin, 1974].

b. Conservadurismo conceptual

El conservadurismo conceptual se traduce en una resistencia notable a cambiar de teoría o de paradigma. En la historia de la ciencia existen ejemplos que demuestran que cuando un descubrimiento es incompatible con la teoría dominante encuentra dificultades para su aceptación. Todo lo nuevo es puesto, en principio y por principio, en cuarentena. Esto forma parte del escepticismo científico que, como se ha

indicado, constituye un elemento fundamental del trabajo científico. Sin embargo, a veces pueden detectarse casos extremos de choque entre un nuevo punto de vista y la teoría establecida. En estos casos la nueva teoría es combatida desde las filas de la teoría dominante más allá del saludable escepticismo científico.

En un artículo escrito en un tono ciertamente agrio, García acuñó el término "*neofobia*" para denominar la aversión que, según él, tienen ciertos editores de revistas científicas ante cualquier novedad [García 1981, p. 149]. Bullough, un investigador del cáncer, sostiene que este "*síndrome de la nueva idea*" es especialmente lamentable en áreas como la suya, tan escasas de nuevas ideas. Sus razones tiene para quejarse: una revisión suya donde proponía nuevos conceptos, hoy aceptados, para explicar el control del crecimiento de los tejidos fue rechazado por la revista *Cáncer Research* [Bullough, 1978]. Según Nissani, el conservadurismo conceptual es un rasgo esencialmente humano que se traslada a la sociedad y tiene su reflejo en instituciones como la ciencia [Nissani, 1995]. Existe además, alguna evidencia de que son precisamente las personalidades académicas que ocupan los cargos de mayor prestigio las que más se resisten a los nuevos puntos de vista. Es interesante citar aquí los resultados de un estudio realizado por Mitroff sobre los científicos implicados en el proyecto Apollo [Mitroff, 1974]. Este

investigador intentaba averiguar en qué medida los científicos estarían dispuestos a cambiar sus ideas sobre el origen de la Luna dependiendo de los resultados del proyecto. Los resultados de este estudio demostraron que los científicos más eminentes, fueron los más dogmáticos e inflexibles en sus creencias. Además, la influencia de estos científicos sobre los demás era enorme, dado que eran reconocidos como autoridades en su campo por el resto de sus colegas.

c. El papel de las concepciones metafísicas y religiosas

Holton introduce la dimensión temática de la ciencia como una tercera componente junto con la dimensión analítica y la dimensión empírica [Holton, 1982]. Según Holton, los **themata** son unas ideas simples pero muy poderosas sobre la ciencia, el conocimiento científico y la realidad. Así, por ejemplo, ideas como **sencillez**, **continuidad** o **conservación** tienen un efecto formidable sobre la construcción del conocimiento científico [Holton, 1982]. Las concepciones metafísicas orientan a menudo el trabajo de los científicos, aunque rara vez se tienen en cuenta en la descripción tradicional del trabajo científico. Además, con frecuencia, los científicos evalúan las contribuciones de los demás de acuerdo con sus creencias metafísicas sobre la ciencia [Holton, 1982]. Así, por ejemplo, determinados prejuicios sobre

las ideas básicas subyacentes a las disciplinas provocaron y provocan enfrentamientos entre escuelas de pensamiento opuestas y los casos históricos así lo atestiguan. La interferencia de este tipo de factores se puede apreciar claramente en el desarrollo de programas de investigación tales como la mecánica cuántica o el electromagnetismo. En la época medieval la creencia en la bondad intrínseca del movimiento circular, propio de la perfección de los cuerpos celestes frente a los movimientos violentos rectilíneos propios del mundo sublunar, constituyó una de las fuentes de resistencia a la nueva teoría heliocéntrica [Kuhn, 1978]. Concepciones generales sobre la continuidad o discontinuidad de la materia han provocado resistencias a determinados científicos. Así, por ejemplo, Berthelot se opuso inicialmente a la ley periódica de Mendeleev debido a sus concepciones antiatomistas [Brush, 1996; pag. 613].

En paralelo a las concepciones metafísicas a veces es preciso tener en cuenta como un factor adicional las concepciones religiosas en la resistencia al cambio conceptual. Así, por ejemplo, la teoría de la evolución atentaba contra algunos principios cristianos básicos, lo cual puede ayudar a entender parte de la resistencia que encontró y encuentra todavía esta teoría en muchos lugares. Las dataciones geológicas de la edad de la Tierra también planteaban problemas a las concepciones cristianas que la hacían

mucho más joven, por lo que hubo cierta resistencia a los puntos de vista en que se sustentaban. Como un último ejemplo cabe citar el que el sistema mecánico del universo propuesto por Newton hacía innecesaria la presencia de Dios y ello explica la resistencia con que fueron recibidas sus teorías en Francia [Evans, 1996].

d. Ideas establecidas sobre cómo deben orientarse las disciplinas

Durante su formación, los científicos no solo aprenden determinadas técnicas, conceptos o teorías. En paralelo con su formación explícita adquieren, muchas veces implícitamente, un conjunto de creencias, valores, puntos de vista e ideas sobre la forma "*correcta*" de actuar en pro del avance de su disciplina y sobre determinados métodos, enfoques experimentales o formas de abordar ciertos problemas. En muchas ocasiones estas ideas sobre la forma correcta de proceder han sido fuente de resistencia al cambio conceptual y al descubrimiento científico. Así, por ejemplo, Williams encontró fuerte oposición a su forma de actuar en la investigación sobre las vitaminas. Su enfoque basado en el uso de las levaduras contrastaba notablemente con los métodos más tradicionales basados en el uso de animales en los experimentos [Campanario, 1993]. Lord Kelvin se mostró sumamente escéptico ante el electromagnetismo de Maxwell porque

era incapaz de traducir las ecuaciones a un modelo mecánico más acorde con sus ideas sobre cómo deben ser las teorías en Física [Barber, 1961]. Arrhenius y sus seguidores criticaron las ideas de Ehrlich sobre inmunología y defendieron la aplicación exclusiva de los métodos propios de la Química a esta disciplina. Un seguidor de Arrhenius incluso se opuso enérgicamente a la concesión del Premio Nobel a Ehrlich aunque fracasó [Luttenberger, 1992].

e. Ideas simplistas

Curiosamente, la persistencia de ideas simplistas y pautas de razonamiento elementales, casi impropias del pensamiento científico, puede constituir también en los científicos una fuente de resistencia activa o pasiva al descubrimiento. Así, por ejemplo, la diversidad de rasgos y caracteres de los seres vivos dio como resultado que se asignase a las proteínas un papel predominante en las teorías sobre la transmisión de los caracteres [Stent, 1972]. Ello estaba relacionado con la enorme variedad de proteínas que podían identificarse. Asimismo, la idea de que la ausencia de unas sustancias, como las vitaminas, que se encontraban en concentración mínima en el organismo, pudiese causar determinadas enfermedades era contraria a la intuición simple. Por otra parte, esquemas mentales simples tales como la asignación de un único papel a cada tipo de molécula biológica (ácidos

nucleicos, proteínas) motivaron que durante mucho tiempo no se descubriese el papel catalítico de la molécula de RNA, algo más "propio" de las proteínas. Cabe citar aquí, por último, la argumentación que se daba a los que defendían la existencia de los meteoritos: "*Es imposible que puedan caer piedras desde el cielo porque en el cielo no hay piedras*".

f. Razones profesionales

Las rivalidades personales y la lucha por el prestigio y el reconocimiento de sus colegas son un ingrediente común en ciencia, aunque las visiones tradicionales ignoren el papel de estos factores en la construcción del conocimiento científico. En muchas ocasiones los defensores de una nueva teoría científica son personas ajenas al campo en cuestión y ello origina la resistencia por parte de los especialistas. Barber cita los casos de la teoría de los gérmenes de Pasteur (que era químico y no médico), los trabajos de Mendel (un monje) en Biología o de Joule (un cervecero) en Física como ejemplos de estas situaciones [Barber, 1961]. El ser un desconocido o una persona ajena al campo en que se propone una nueva teoría no ayuda a que las nuevas ideas que se proponen sean aceptadas fácilmente por los especialistas. Existen muchos otros ejemplos recientes que demuestran que no es fácil luchar contra el predominio de los expertos en un campo determinado [Martin, 1996].

El problema se complica cuando existen rivalidades entre escuelas de pensamiento científico o entre orientaciones nacionales y formas de concebir la ciencia en los distintos países. Así, por ejemplo, el abandono de la teoría del flogisto fue difícil para los químicos alemanes, mientras que Arrhenius, siguiendo sus preferencias, se opuso con todas sus fuerzas a la inclusión de la astrofísica como parte de la Física que se podía premiar con el premio Nobel [Friedman, 1981]. Los físicos matemáticos franceses no dieron demasiada importancia a los descubrimientos de Faraday en electromagnetismo porque los consideraron parte del típico jugueteo científico de los ingleses, totalmente incompatible con la orientación globalizadora y con la modelización matemática propia del rigor francés [Barber, 1961, pag. 598].

Entre las razones profesionales que hacen que los científicos se opongan a los nuevos puntos de vista no cabe duda que es preciso tener en cuenta el tremendo choque afectivo que supone tener aceptar ideas que van en contra de la obra propia. Nadie negará que, en general, los científicos se implican enormemente con sus teorías. Pensemos que una de las formas de reconocimiento científico consiste precisamente en dar a las contribuciones o a los descubrimientos el nombre de su creador o descubridor. Como reconoce Boring, "*una teoría que se ha construido a imagen y semejanza de su autor llega a ser parte de él. Abandonar dicha teoría*

sería un suicidio o, como poco, un acto de automutilación" [Boring, 1964, p. 682]. Un caso que ilustra este tipo de razones es la resistencia de Rosalind Franklin a la hipótesis de que la hélice que forma la molécula de DNA era doble, frente a su punto de vista que defendía que la hélice era triple y que estaba basado en largas horas de trabajo de laboratorio [Watson, 1968].

3.4. ¿Hasta donde se llega? Los casos extremos de resistencia al cambio de ideas

Como se ha demostrado en el apartado anterior, los científicos pueden ser extremadamente reacios a cambiar sus puntos de vista. La componente de implicación personal en sus propios descubrimientos hace que los factores afectivos tengan un papel decisivo en la resistencia al descubrimiento científico que dificulta en muchas ocasiones el cambio conceptual en ciencia.

No resulta difícil encontrar ejemplos de resistencia a ultranza a ideas contrarias a las propias. Esta resistencia lleva a veces a negar la evidencia contraria, algo que es posible incluso en grandes genios y renombrados científicos. Así, por ejemplo, el físico Albert Einstein en una ocasión dijo que rechazaría antes datos contrarios a su teoría de la relatividad que la propia teoría [Mahoney, 1979, p. 359]. Su obstinación en negar los puntos de vista de la escuela de Copenhague en

Mecánica Cuántica es bien conocida y se describe incluso en los libros de texto de Física General. El físico Clausius se negó a recibir a Planck cuando éste viajó a Bonn sólo para poder hablar con él directamente y explicarle su famosa hipótesis que abrió el camino a la Mecánica Cuántica [Rappa y Debackere, 1993]. Curiosamente, el propio Planck combatió algunas consecuencias “perversas” de su hipótesis que venían a romper con el mundo clásico de la Física tradicional. El gran psicólogo Skinner reconoció que hubo una época en que se negó a analizar los datos y argumentos de sus críticos [Mahoney, 1979, p. 352]. Hubble no quiso ni siquiera mirar las primeras fotografías de Tombaugh de clusters de galaxias [Nissani, 1995; pag. 176]. Igualmente, el editor de una prestigiosa revista de odontología devolvió sin abrir las cartas que contenían artículos escritos por Albert Schatz (uno de los descubridores de la streptomina) y en los que criticaba la adición de flúor al agua potable [Martin, 1997]. El editor sabía que Schatz era un firme oponente a tal medida. El gran astrónomo Henry Norris Russel “sugirió” insistentemente a la doctoranda Cecilia Payne un cambio en las conclusiones de su tesis doctoral [DeVorkin, 1989]. Esta científica fue, probablemente la primera persona que reconoció que el hidrógeno era el elemento más abundante en la atmósfera de las estrellas, pero esta conclusión echaba por tierra las teorías en voga sobre la estructura

estelar. El desprecio por no haber sido citados sus trabajos fue el motivo por el que un miembro del tribunal rechazó la tesis del futuro Premio Nobel Konrad Bloch. De acuerdo con las normas de la época un voto negativo implicaba el rechazo unánime [Bloch, 1987]

Cuando el problema o la anomalía son demasiado evidentes como para ser ignorados se recurre con frecuencia a hipótesis ad-hoc para salvar de alguna manera la teoría previa del cambio conceptual. Así, cuando surgieron evidencias en contrario ante la idea de que los cuerpos que ardían perdían flogisto y, por tanto, siempre debían disminuir de peso, se postuló que el flogisto tenía peso negativo [Asimov, 1975]. Quizá un caso extremo de lucha por imponer las propias es el del gran científico norteamericano Robert Millikan que, como es sabido, consiguió el Premio Nobel de Física por su medida de la relación carga/masa del electrón. Millikan era un firme creyente de la existencia del electrón como unidad mínima de carga, mientras Ehrenhaft, en Viena, era el defensor de la existencia de “subelectrones” y creía en la continuidad de la carga eléctrica. Hoy día pocos dudan de que Millikan eliminó algunos datos que eran inconsistentes con su hipótesis inicial [Segerstrale, 1995]. Lo curioso es que acertó. Otras situaciones de resistencia al cambio de ideas han desembocado en casos de fraude y conductas contrarias a la ética científica [Kohn, 1988]. Cabe destacar el caso de la resistencia a la ley de

Gravitación Universal de Newton que, como se ha indicado, no fue aceptada inmediatamente en Europa. Casi un siglo después de su formulación inicial se produjo un caso notorio de fraude por parte de científicos cartesianos empeñados en combatir, casi a cualquier costa, la formulación newtoniana de la Gravitación Universal [Evans, 1996].

4. Implicaciones didácticas y conclusiones

Un conocimiento más detallado por parte de profesores y alumnos de la resistencia al descubrimiento y al cambio conceptual en ciencia es deseable por varias razones:

a. Estos episodios forman parte de la historia de la ciencia y, por tanto, forman parte de la alfabetización científica. Es bien conocido que los libros de texto transmiten una visión idealizada sobre la historia de la ciencia y las vidas de los científicos [Campanario, 1997]. Los aspectos más oscuros relacionados con el dogmatismo y la resistencia al descubrimiento suelen ser concienzudamente omitidos, al igual que sucede con las disputas y luchas por la prioridad, una de las actividades a las que científicos como Newton han dedicado más tiempo y energías [Merton, 1985].

b. El paralelismo que parece existir entre la resistencia al cambio concep-

tual en los alumnos y en historia de la ciencia debe ser estudiado con mayor profundidad. Es evidente que en los últimos años se ha prestado especial atención desde la Didáctica de las Ciencias Experimentales a los aspectos relacionados con la naturaleza del conocimiento científico y de los procesos de elaboración del mismo como un “*elemento esencial para el análisis y fundamentación de las disciplinas científicas*” [Mellado y Carracedo, 1993, pág. 332] y “*una referencia obligada que ha de tener el profesor para planificar su enseñanza*” [Sánchez y Valcárcel, 1993, pág. 34] que “*puede clarificar qué es lo que conviene y podemos enseñar*” [Gil, 1994, pág. 18]. Además, la Filosofía de la Ciencia “*es una de las principales fuentes de hipótesis*” sobre el modo en que tiene lugar el cambio conceptual [Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982, pág. 211] hasta el extremo de que determinadas teorías en Filosofía de la Ciencia servirían como “*modelos claros de como funciona el aprendizaje humano de conceptos científicos*” [Pozo, 1987a, pág. 110]. Sin embargo, no se ha profundizado mucho en relación apartante que existe entre la resistencia al descubrimiento y al cambio conceptual por parte de los científicos y sus paralelismos el aprendizaje de las ciencias. Es interesante, pues, ahondar en el conocimiento de los procesos de resistencia al cambio conceptual en ciencia para intentar relacionar los aspectos macroscópicos y globales

(resistencia al cambio conceptual en ciencias) con los aspectos microscópicos y personales (resistencia al cambio conceptual individual).

c. Por otra parte, el uso de la historia de la ciencia con una dimensión **meta-cognitiva** propone aprovechar la historia de la ciencia para que los alumnos sean conscientes de la existencia de sus ideas previas y preconcepciones y de la resistencia al abandono de las mismas. Desde este punto de vista, el conocimiento de los episodios que demuestran que la resistencia al cambio conceptual es algo de lo que no escapan los propios científicos se postula como una ayuda para minimizar las consecuencias afectivas negativas de darse cuenta de que uno está siempre equivocado con sus ideas [Campanario, 1997]. Se trata de utilizar la historia de la ciencia para conseguir determinados **objetivos afectivos y nuevas actitudes**. Sin embargo, el profesor de ciencias que decida seguir esta orientación debería ser consciente tanto de las semejanzas como de las diferencias que existen entre los dos tipos de resistencia al cambio conceptual. Aunque existen factores comunes en ambos casos, como pueden ser el efecto de las concepciones epistemológicas y el uso de ideas simplistas y pautas de razonamiento inadecuadas, la dificultad para abandonar fácilmente las construcciones cognitivas propias, también hay que tener en cuenta factores diferenciales, como pueden ser los factores profesionales,

académicos y otros. No cabe duda de que el debate en enseñanza de las ciencias sobre el uso de la historia de la ciencia debería intentar tender un puente entre la psicología cognitiva, que tiene que ver con el comportamiento de nuestros alumnos, y la historia de la ciencia, que nos ilustra sobre el comportamiento de los científicos.

d. Es bien conocido que los alumnos desarrollan sus propias concepciones acerca de la ciencia y del conocimiento científico. Estas concepciones son con frecuencia inadecuadas [Roth y Roychoudhury, 1994] y reflejan unas ideas simples sobre cómo funciona la ciencia y cómo se genera el conocimiento científico según las cuales, como se ha indi-

do más arriba, el avance de la ciencia es un proceso lineal en el que la verdad acaba por imponerse por sus propios méritos [Brush, 1974]. Esta realidad está en conflicto con uno de los objetivos generales que se suelen proponer en la enseñanza de las ciencias como es el que los alumnos consigan una visión más adecuada sobre la naturaleza de la ciencia y del conocimiento científico [Hodson, 1992].

e. La resistencia al descubrimiento científico y al cambio conceptual en ciencia es un tema abierto que permite fomentar las discusiones en clase acerca de la construcción y elaboración de la propia ciencia. Este tema constituye una oportunidad inmejorable de plantear enfoques multidisciplinares en los que se mezclen la historia de la

ciencia, la sociología de la ciencia y la psicología. La influencia de los factores ajenos, en principio, al propio conocimiento científico en el proceso de creación, difusión y aceptación del nuevo conocimiento se pone más claramente de manifiesto cuando se tiene en cuenta que en la ciencia coexisten dos estructuras jerárquicas: una estructura de conocimientos y disciplinas y una estructura paralela de responsabilidades administrativas y posiciones académicas que, lejos de estar únicamente al servicio de la anterior, interactúa fuertemente con ella [Toulmin, 1977]. Las decisiones y cambios en cada una de estas estructuras tiene influencia en la otra. Nuevos descubrimientos dan lugar a nuevas áreas de conocimiento que se corresponden con nuevos puestos docentes e investigadores e incluso departamentos universitarios. Desde estas nuevas posiciones académicas se impulsa o se deja de impulsar la investigación en líneas determinadas y ello da como resultado el progreso en una dirección o en otra lo que puede traducirse en nuevos descubrimientos que originan nuevos cambios en la estructura jerárquica de posiciones académicas en un ciclo que se realimenta a sí mismo. De ahí que la organización profesional y los mecanismos de evaluación y promoción de los científicos tengan su reflejo en el establecimiento de nuevas líneas de investigación o en el abandono de las líneas actuales con las consiguientes implicaciones para la

estructura del conocimiento en una disciplina determinada. Las relaciones de poder en el seno de una disciplina pueden ayudar a explicar a veces las resistencias que ofrecen los científicos al descubrimiento científico [Barber, 1961].

El cuadro que se desprende de todo lo anterior ofrece una visión nueva y complementaria de la ciencia, más próxima a veces a la realidad del trabajo cotidiano de los científicos que las interpretaciones de los filósofos de la ciencia. Si uno de los objetivos de la enseñanza de las ciencias debe ser el que los alumnos obtengan una visión más adecuada de la naturaleza de la ciencia y del conocimiento científico, no cabe duda de que es preciso tener en cuenta los factores que se han enumerado en esta breve revisión, habida cuenta de que ejercen una influencia no desdeñable en el proceso de creación y estructuración del conocimiento científico. En nuestra opinión, pues, no cabe duda de que el tema de la resistencia al descubrimiento en ciencia debería formar parte explícita de los contenidos académicos en las asignaturas de ciencias de la enseñanza obligatoria y, con mayor razón, en la formación universitaria.

5. Referencias

Armstrong, J.S. (1982). Research on scientific journals: Implication for editors and authors. *Journal of*

- Forecasting, 1, 83-104.
- Asimov, I. (1975) Breve historia de la Química, (Alianza Universidad: Madrid)
- Baker, L. (1979). Comprehension monitoring: Identifying and coping with text confusions. Journal of Reading Behavior, 11, 363-374.
- Baker, L. (1985). Differences in the standards used by college students to evaluate their comprehension of expository prose. Reading Research Quarterly, 20, 297-313.
- Barber, B. (1961). Resistance by scientists to scientific discovery. Science, 134, 596-602.
- Bloch, K. (1987). Summing up. Annual Review of Biochemistry, 56, 1-19.
- Boring, E.G. (1964). Cognitive dissonance: Its use in science. Science, 145, 680-685.
- Brush, S.G. (1974). Should the history of science be rated X?. Science, 183, 1164-1172.
- Brush, S.G. (1996). The reception of Mendeleev's periodic law in America and Britain. Isis, 87, 595-628.
- Bullough, W.S. (1978). Commentary on "Cancer Research, 25, 1683-1727, 1965". Current Contents, 20, 9.
- Ramón y Cajal, S (1984). Historia de mi labor científica, (Alianza Editorial: Madrid)
- Campanario, J.M. (1993). Consolation for the scientist: Sometimes it is hard to publish papers that are later highly-cited. Social Studies of Science, 23, 342-362.
- Campanario, J.M. (1995). Commentary: On influential boos and journal articles initially rejected because negative referees' evaluations. Science Communication, 16, 304-325.
- Campanario, J.M. (1996). Have referees rejected some of the most-cited articles of all times?. Journal of the American Society for Information Science, 47, 302-310.
- Campanario, J.M. (1997). Ventajas e inconvenientes de la Historia de la Ciencia como recurso en la enseñanza de las ciencias. En revisión.
- Campanario, J.M. y Otero, J. (1997). La "conspiración cognitiva" contra el trabajo del profesor de ciencias: Lo que los alumnos saben, saben hacer, creen y creen que saben. En revisión.
- Campanario, J.M. y van Oostendorp, H. (1996). Updating mental representations when reading scientific texts. Ponencia presentada en International Seminar on Using Complex Information Systems (UCIS) Université de Poitiers: Poitiers, Francia.
- Carrascosa, J.; Gil, D. (1992). Concepciones alternativas en Mecánica. Enseñanza de las Ciencias, 10, 314-327.
- Claxton, G. (1987). Vivir y Aprender, (Harper and Row: Londres)
- Colman, A.M. (1982). Manuscript evaluation by journal referees and editors: randomnes or bias?. Behavioral and Brain Science, 5, 205-206.
- Chinn, C.A. y Brewer, W.F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. Review of Educational Research, 63, 1-49.
- DeVorkin, D. (1989). Henry Norris Russel. Investigación y Ciencia, 154, 82-90.
- Driver, R.; Guesne, E.; Tiberghien, A. (1985). Childrens' ideas in science, Open University Press: Milton Keynes.
- Duit, R. (1991). Students' conceptual frameworks consequences for learning science. En S. Glynn, R. Yeany, B. Britton (Eds) The Psychology of Learning Science, Lawrence Erlbaum: Hillsdale, USA.
- Findahl, O. y Höijer, B. (1981). Studies of news from the perspective of human comprehension. En G.C. Wilhoit y H. de Bock (Eds.), Mass Communication Review Yearbook (Vol.2). Sage: Beverley Hills, CA.
- Friedman, R.M. (1981). Nobel Physics Prize in perspective. Nature, 292, 793-798.
- Gans, J.S., Sheperd, G.B. (1994). How are the mighty fallen: Rejected classic articles by leading economists. Journal of Economic Perspectives, 8, 165-179.
- García, J. (1981). Tilting at the paper mills of academe. American Psychologist, 36, 149-158.
- García-Arista, E.; Campanario, J.M.; Otero, J.C. (1996). Influence of subject matter setting on comprehension monitoring. European Journal of Psychology of Education, 11, 427-441.
- Garfield, E. (1989a). Delayed recognition in scientific discovery: Citation frequency analysis aids the search for case histories. Current Contents, 23, 3-9.
- Garfield, E. (1989b). More delayed recognition. Part 1. Examples from the genetics of color blindness, the entropy of short-term memory, phosphoinositides, and polymer rheology. Current Contents, 38, 3-8.
- Garfield, E. (1990). More delayed recognition. Part 2. From inhibin to scanning electron microscopy. Current Contents, 9, 3-9.
- Gil, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. Enseñanza de las Ciencias, 11, 197-212.
- Gil, D. (1994). Relaciones entre conocimiento escolar y conocimiento científico. Investigación en la Escuela, 23, 17-32.
- Gil, D.; Carrascosa, J.; Furió, C.; Martínez-Torregrosa, J. (1991). La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria, ICE, Universitat de Barcelona: Barcelona.
- Hammer, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory Physics. Cognition and Instruction, 12, 151-183.
- Heering, P. (1992). On Coulomb's inverse square law. American Journal of Physics, 60, 988-994.

- Hierrezuelo, J.; Montero, A. (1991) La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y de la Química, Elzevir: Málaga.
- Hodson, D. (1992) In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. International Journal of Science Education, 14, 41-52.
- Holton, G. (1982). Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein, Alianza Universidad: Madrid.
- Horrobin, D.F. (1974). Referees and research administrators: Barriers to scientific research?. British Medical Journal, 2, 216-218.
- Horrobin, D.F. (1990). The philosophical basis of peer review and the suppression of innovation. JAMA, 263, 1438-1441.
- Johnson, H.M. y Seifert, C.M. (1994). Sources of continued influence effect: When misinformation in memory affects later inferences. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 20, 1420-1436.
- Kauffman, G.G. (1988). The discovery of noble-gas compounds. Journal of College Science Teaching, 17, 264-268.
- Kohn, A. (1988). Falsos profetas, (Pirámide: Madrid)
- Kuhn, T. (1971). La estructura de las revoluciones científicas, Fondo de Cultura Económica: México.
- Kuhn, T.S. (1978). La revolución copernicana, Ariel: Barcelona.
- Lakatos, I. (1983). La metodología de los programas de investigación científica, Alianza Editorial: Madrid.
- Larsen, S.F. (1983). Text processing and knowledge updating in memory for radio news. Discourse Processes, 6, 21-38.
- Leydesdorff, L. (1987). Towards a theory of citation? Scientometrics, 12, 305-309
- Linder, C. (1993). A challenge to conceptual change. Science Education, 77, 293-300.
- Luttenberger, F. (1992). Arrhenius Vs. Ehrlich on immunochemistry: Decisions about scientific progress in the context of the Nobel Prize. Theoretical Medicine, 13, 137-173.
- Mahoney, M.J. (1979). Psychology of the scientist: An evaluative review. Social Studies of Science, 9, 349-375.
- Martin, B. (1996). Confronting the experts. (State University of New York Press: Albany, N.Y.)
- Martin, B. (1997). Suppression Stories. (<http://www.uow.edu.au/arts/sts/bmartin/pubs/ss1.html>)
- Meana, L. (1996). La minirrevolución de Thomas Kuhn. El País, 13 de julio de 1996, pag. 14
- Mele, A.R. (1996). Real self-deception. Psychology, <http://www.cogsci.soton.ac.uk/bbs/Archive/bbs.mele.html>.
- Merton, R.K. (1985). La sociología de la ciencia, Alianza Universidad: Madrid.
- Mitroff, I.I. (1974). The subjective side of science, Elsevier: New York, N.Y.
- Nissani, M. (1995). The plight of the obscure innovator in science: A few reflections on Campanario's note. Social Studies of Science, 25, 165-183.
- Ochoa, S. (1980). The pursuit of a hobby. Annual Review of Biochemistry, 49, 1-30.
- Otero, J.C.; Campanario, J.M. (1990). Comprehension evaluation and regulation in learning from science texts. Journal of Research in Science Teaching, 27, 447-460.
- Otero, J.C.; Campanario, J.M.; Hopkins, K.D. (1992). The relationship between academic achievement and metacognitive comprehension monitoring ability of Spanish secondary school students. Educational and Psychological Measurement, 52, 419-430.
- Otero, J.C.; Campanario, J.M.; Brincones, I. (1989). La disposición para el aprendizaje significativo de las ciencias experimentales: El control de la propia comprensión, Memoria final de investigación, Madrid: CIDE-MEC.
- Otero, J.C.; Kintsch, W. (1992). Failures to detect contradictions in a text: What readers believe versus what they read. Psychological Science, 3, 229-235.
- Pfundt, H.; Duit, R. (1994). Bibliography on students' alternative frameworks and science education, Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften: Kiel, Alemania.
- Polyanni, M. (1958). Personal Knowledge, Routledge and Kegan Paul: London, U.K.
- Posner, G.J.; Strike, K.A.; Hewson, P.W.; Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. Science Education, 66, 211-227.
- Pozo, J.I. (1987). Y sin embargo, se puede enseñar ciencia. Infancia y Aprendizaje, 38, 109-113.
- Pozo, J.I.; Carretero, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia?. Infancia y Aprendizaje, 38, 35-52.
- Pozo, J.I.; Sanz, A.; Gómez, M.A.; Limón, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: Una interpretación desde la psicología cognitiva. Enseñanza de las Ciencias, 9, 83-94.
- Ravetz, J.R. (1971). Scientific Knowledge and its social problems (Clarendon Press: Oxford)
- Ricca, R.L. (1991). Rediscovery of Da Rios equations. Science, 352, 561-562.
- Roth, W.M.; McRobbie, C.J.; Lucas, K.B.; Boutonné, S. (1997). Why may students fail to learn from demonstrations? A social practice perspective on learning in Physics. Journal of Research in Science Teaching, 34, 509-533.
- Roth, W.M.; Roychoudhury, A. (1994). Physics students' epistemologies and views about knowing and learning.

- ning. Journal of Research in Science Teaching, 31, 5-30.
- Salinas, J.; Cudmani, L.C.; Pesa, M. (1996). Modos espontáneos de razonar: Análisis de su incidencia en el aprendizaje del conocimiento científico a nivel universitario básico. Enseñanza de las Ciencias, 14, 209220.
- Sánchez, G.; Valcárcel, M.V. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales. Enseñanza de las Ciencias, 11, 33-44.
- Segerstrale, U. (1995). Good to the last drop? Millikan stories as "canned" pedagogy. Science and Engineering Ethics, 1, 197-214.
- Smith, C.W. (1976). Faraday as referee of Joule's Royal Society Paper "On the mechanical equivalent of heat". Isis, 67, 444-449.
- Stent, G.S. (1972). Prematurity and uniqueness in scientific discovery. Scientific American, 227, 8493.
- Toulmin, S (1977). La comprensión humana, Alianza Universidad: Madrid.
- van Oostendorp, H. (1996). Updating situation models derived from newspaper articles. Medienpsychologie, 8, 21-33.
- van Oostendorp, H. y Bonebakker, C. (1996). Het vasthouden aan incorrecte informatie bij het verwerken van nieuwsberichten [Holding on to misinformation during processing news reports]. Tijdschrift voor Communicatiewetenschap, 24, 57-74.
- Vinkler, P. (1987). A quasi-quantitative citation model. Scientometrics, 12, 47-72.
- Watson, J. (1968). The double helix, Mentor Books: New York, N.Y.
- Wilkes, A.L.; Leatherbarrow, M. (1988). Editing episodic memory following the identification of error. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 40A, 361-387.
- Yallow, R. (1982). Competence testing for reviewers and editors. The Behavioral and Brain Sciences, 5, 244-245.