

**Recontextualización sobre una recontextualización: Una revisión de la enseñanza del electromagnetismo en torno a los trabajos de Maxwell**

**Julian David Martínez Medina**

**2011146041**

**Línea de Enseñanza de las Ciencias desde una Perspectiva Cultural**

**Universidad Pedagógica Nacional de Colombia**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Departamento de Física**

**Bogotá D.C.**

**2015**

**Recontextualización sobre una recontextualización: Una revisión de la enseñanza del electromagnetismo en torno a los trabajos de Maxwell**

**Julian David Martínez Medina**

**2011146041**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Licenciado en Física**

**Director**

**Juan Carlos Orozco Cruz**

**Docente Departamento de Física**


**Universidad Pedagógica Nacional de Colombia**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Departamento de Física**

**Bogotá D.C.**

**2015**

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 92	

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de Grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	RECONTEXTUALIZACIÓN SOBRE UNA RECONTEXTUALIZACIÓN: UNA MIRADA DE LA ENSEÑANZA DEL ELECTROMAGNETISMO EN TORNO A LOS TRABAJOS DE MAXWELL.
<b>Autor(es)</b>	MARTÍNEZ MEDINA, Julian David
<b>Director</b>	OROZCO CRUZ , Juan Carlos
<b>Publicación</b>	Bogotá D.C, Universidad Pedagógica Nacional, 2016, 87 P.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional
<b>Palabras Claves</b>	RECONTEXTUALIZACIÓN DE SABERES HISTÓRICOS, REVISIÓN DE DOCUMENTOS ORIGINALES, ENSEÑANZA DEL ELECTROMAGNETISMO, TEORIA ELECTROMAGNETICA CLASICA.

<b>2. Descripción</b>
<p>Cuando se está inmerso en contextos no científicos es común encontrarse con imágenes sobre ciencia, científico y su quehacer que rivalizan firmemente con la idea de una ciencia humanizada, en la cual sus representantes luchan por divulgar una imagen particular sobre el mundo que está en la misma línea de sus desarrollos teóricos y experimentales. Esto es consecuencia, en gran medida, tanto de la forma en la que se enseñan las ciencias como de los materiales de apoyo para tal fin. A esto la recontextualización de saberes históricos aparece como una herramienta no solo para la selección del material sino también para el diseño y construcción de metodologías para la enseñanza de las ciencias. A continuación se presenta no una recontextualización en sí misma, más bien se trata de una recontextualización sobre una recontextualización, es decir, se busca a partir de la revisión histórica de la ciencia del electromagnetismo los métodos y las dinámicas por las cuales el científico pronunciado lleva a contextos no especializados sus teorías, para</p>

posteriormente encontrar criterios de selección, diseño y construcción de un discurso pedagógico para la enseñanza del electromagnetismo. Es así como se revisan los documentos de Maxwell en el campo del electromagnetismo con miras en develar y reconstruir lo que sería su discurso en torno a la enseñanza del electromagnetismo.

### 3. Fuentes

#### Documentos sobre estudios históricos

Ayala, M. M. (2004). Historia de las ciencias y formación de profesores: un análisis contextual. *Física y Cultura*, 94-104.

Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes históricos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Física y Cultura*, 19-37.

Garay, F. R. (2011). Perspectivas de Historia y Contexto Cultural en la Enseñanza de las Ciencias: Discusiones para los Procesos de Enseñanza y Aprendizaje. 51-62.

Romero, A., & Rodríguez, L. D. (1999). La construcción de la historicidad de las ciencias y la transformación de las prácticas pedagógicas. *Física y Cultura*, 3-16.

Rodríguez, L. D., & Ayala, M. M. (1996). La historia de las ciencias y la enseñanza de las ciencias. *Física y Cultura*, 75-94.

#### Documentos originales en el campo del electromagnetismo

Maxwell, J. C. (1860). Inaugural Lecture at King's College London.

Maxwell, J. C. (1861). On Physical lines of Force.

Maxwell, J. C. (1871). Introductory lecture on experimental physics. (págs. 32-45). Consejo superior de publicaciones científicas.

Maxwell, J. C. (1881). *An Elementary Treatise on Electricity*. Oxford: Clarendon Press Series.

Maxwell, J. C. (1891). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Clarendon Press.

### 4. Contenidos

El documento se encuentra dividido en cinco partes fundamentales, a saber, Maxwell – Conferencias, Maxwell y el Tratado Elemental sobre Electricidad, Maxwell y el Tratado de Electricidad y Magnetismo, El trabajo de Recontextualización de Maxwell y Recontextualización sobre una Recontextualización, que se describen a continuación.

**Maxwell – Conferencias:** En esta sección del documento se encuentran los comentarios e ideas de Maxwell que se hayan en sus textos de divulgación y que presentan relación con la enseñanza del electromagnetismo.

**Maxwell y el Tratado Elemental sobre Electricidad:** En esta sección del documento se encuentran los comentarios e ideas de Maxwell que se hayan en sus textos de divulgación, particularmente el tratado elemental sobre electricidad y que presentan relación con la enseñanza del electromagnetismo.

**Maxwell y el Tratado de Electricidad y Magnetismo:** En esta sección del documento se encuentran los comentarios e ideas de Maxwell que se hayan en sus textos de especializados y que presentan relación con la enseñanza del electromagnetismo.

**El trabajo de Recontextualización de Maxwell:** En esta sección del documento se presenta el esfuerzo de Maxwell por realizar una recontextualización de las ideas sobre electromagnetismo, incluyendo la metodología y herramientas de las cuales dispone el autor para cumplir tal objetivo.

**Recontextualización sobre una Recontextualización:** En esta sección del documento se presentan los hallazgos del trabajo y que podrían contribuir en la actualidad en la construcción de dinámicas para la enseñanza del electromagnetismo.

## **5. Metodología**

Se revisó en primera instancia y con brevedad la historia del electromagnetismo, desde aquella que sería la primera evidencia experimental de la estrecha relación entre la electricidad y el magnetismo y que tuvo lugar hacia 1820 con el físico dinamarqués Christian Oersted, hasta los hallazgos de Heinrich Hertz en el campo de las ondas electromagnéticas hacia 1887. Es a partir de esta revisión que se opta por trabajar alrededor de los trabajos de Maxwell. Posterior a la escogencia de este autor, se realiza una revisión de sus textos sobre electromagnetismo.

Cuando se revisan sus documentos sobre electromagnetismo se encontraron básicamente dos grupos, el primero de estos grupos se caracteriza por registrar detalladamente las ideas de Maxwell alrededor de los fenómenos electromagnéticos sin restringir el uso riguroso del formalismo matemático, además presenta los contenidos sin realizar una introducción a sus ideas, por lo tanto el lector no solo debe gozar con destreza en el campo de las matemáticas sino que también debe estar familiarizado con los conceptos e ideas ya desarrolladas sobre electromagnetismo hasta el momento en que fue escrito el documento, lo anterior implica que este tipo de texto sea un texto especializado, puesto que exige unos requisitos mínimos para quien decide iniciar su lectura. En el segundo grupo de textos se hallan aquellos en los que el autor reconoce un estado cognitivo de partida que difiere del que poseen las comunidades especializadas o científicas y por tanto no solo realiza una introducción a los conceptos de base, sino que los construye a medida que el lector avanza a través del texto. Este tipo de texto puede ser considerado como un texto de difusión en el cual el autor tiene como objetivo encaminar al

lector hacia la construcción de ideas científicas desde su cotidianidad, posibilitando reflexiones sobre fenómenos eléctricos y magnéticos.

A continuación se realizó una lectura detallada de la conferencia dictada en el King's College de Londres, ya que en esta se destacan varios aspectos de carácter pedagógico, que no solo están asociados al cuerpo de la filosofía natural, sino que están encaminados a la forma en la cual debe ser presentado este cuerpo de leyes y teorías, reconociendo al sujeto como un ser con ideas previas y a la experiencia como el camino más sólido en la apropiación de una idea y en la construcción de conceptos. Es a partir de la lectura de este documento que se ubican unas primeras categorías, cada una de las cuales es seleccionada con el objetivo de develar el pensamiento de Maxwell frente a la enseñanza de la física, siendo este el documento indicado ya que Maxwell comunica de manera oral a la comunidad académica la forma en la que él entiende y organiza la filosofía natural para fines de la enseñanza, pues será el encargado la cátedra de física para los estudiantes del King's College. Seguidamente a la organización de las categorías, que se explicaran en detalle más adelante en el apartado de recontextualización sobre una recontextualización, se retoma el *Elementary Treatise on Electricity* debido a que este es un texto que pertenece al segundo grupo de documentos discriminados previamente, por lo tanto tiene unos fines pedagógicos y de difusión, lo cual permite contrastar, por un lado, lo que Maxwell comunica en torno a la enseñanza de la física de manera oral y por el otro lo que presenta desde una vía de comunicación escrita. De esta manera, lo que se encuentra en el tratado elemental puede ser organizado bajo las categorías que emergen de la conferencia inaugural sin perder de vista la forma en la que se documentan estas fuentes.

A continuación, se revisan los textos de carácter especializados en los cuales emergen otro segundo grupo de categorías igualmente asociadas a la postura de Maxwell frente a la enseñanza del electromagnetismo y se extraen los comentarios del autor que pueden ser organizados en cada una de las diferentes categorías, posterior a haber completado el cuadro de categorías en su totalidad, incluyendo tanto los textos especializados como los textos de difusión, se revisan las coincidencias que subyacen de la matriz.

Por último, es posible redactar un documento que permite develar la postura de Maxwell frente a la enseñanza de las ciencias e incluso resaltar los aspectos metodológicos que caracterizan la intervención de Maxwell en contextos no especializados.

## 6. Conclusiones

Se encuentra que el trabajo de Maxwell en el campo del electromagnetismo no solo comprende un esfuerzo por construir una teoría irrefutable para las ciencias de la electricidad y el magnetismo, sino que, conforme con nuestros planteamientos de partida, el autor expone un firme compromiso con la enseñanza de las ciencias en sus textos de divulgación, sus conferencias e incluso en su vida

misma. Y es a raíz de esta preocupación que el autor presenta criterios para la enseñanza de las temáticas de la *filosofía natural* que no se dejan en el aire sino que son recogidas tanto en sus textos de divulgación como en sus textos especializados. Esto es en sí mismo un esfuerzo por parte del autor por recontextualizar aquellas ideas que pueden denominarse científicas en contextos cuyas habilidades en ciencias hasta ahora empiezan a desarrollarse.

Por otra parte, el trabajo realizado permitió encontrar otro tipo de recontextualización por parte del autor que, como ya se ha venido mencionando, involucra dos comunidades especializadas en el ámbito de las ciencias cuyos puntos de vista sobre las ciencias físicas difieren, no porque alguna de las partes este equivocada, más bien se trata de un problema en la comunicación, un problema que radica en el lenguaje por el cual son presentados ambos puntos de vista, es así como Maxwell se convierte en una vía para el dialogo entre ambas partes a través de su TEM. Esto permite que las ideas de Faraday sean escuchadas por una comunidad científica que promulga el uso de la herramienta matemática para la presentación de ideas científicas.

Lo anterior deja ver que la obra de Maxwell fue una recontextualización de las ideas científicas tanto suyas como de sus contribuyentes, es un esfuerzo por construir vías para el dialogo entre partes que presentan maneras de ver, pensar y entender el mundo diferentes. Siendo esta una camino sólido para la enseñanza de las ciencias, un camino que reconoce al otro como un sujeto de pensamiento capaz de estructurar y defender de manera argumentada su posición frente a cualquier fenómeno físico.

<b>Elaborado por:</b>	Julian David Martínez Medina
<b>Revisado por:</b>	Juan Carlos Orozco Cruz

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	09	06	2016
--	----	----	------

## Contenido

INTRODUCCIÓN .....	1
PLANTEAMIENTOS DE PARTIDA .....	8
PLANTEAMIENTO GENERAL .....	9
PLANTEAMIENTO ESPECÍFICO .....	9
METODOLOGÍA.....	9
MAXWELL – CONFERENCIAS .....	12
MAXWELL Y EL TRATADO ELEMENTAL SOBRE ELECTRICIDAD .....	22
MAXWELL Y EL TRATADO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO .....	33
EL TRABAJO DE RECONTEXTUALIZACIÓN DE MAXWELL .....	39
RECONTEXTUALIZACIÓN SOBRE UNA RECONTEXTUALIZACIÓN .....	45
A MODO DE REFLEXIÓN .....	50
Referencias.....	51
ANEXOS .....	i
CUADRO DE CATEGORIAS .....	i
JAMES CLERK MAXWELL’S INAUGURAL LECTURE AT KING’S COLLEGE LONDON.....	x
INTRODUCTORY LECTURE ON EXPERIMENTAL PHYSICS .....	xx

## INTRODUCCIÓN

Cuando se está inmerso en contextos no científicos es común encontrarse con imágenes sobre ciencia, científico y su quehacer que rivalizan firmemente con la idea de una ciencia humanizada, en la cual sus representantes luchan por divulgar una imagen particular sobre el mundo que está en la misma línea de sus desarrollos teóricos y experimentales. Esto es consecuencia, en gran medida, tanto de la forma en la que se enseñan las ciencias como de los materiales de apoyo para tal fin. A esto la recontextualización de saberes históricos aparece como una herramienta no solo para la selección del material sino también para el diseño y construcción de metodologías para la enseñanza de las ciencias. A continuación se presenta no una recontextualización en sí misma, más bien se trata de una recontextualización sobre una recontextualización, es decir, se busca a partir de la revisión histórica de la ciencia del electromagnetismo los métodos y las dinámicas por las cuales el científico pronunciado lleva a contextos no especializados sus teorías, para posteriormente encontrar criterios de selección, diseño y construcción de un discurso pedagógico para la enseñanza del electromagnetismo. Así, en la parte introductoria, se diseña una ruta que pasa por la historiografía de las ciencias, mostrando como estas se encargan de promulgar una imagen particular de ciencia, para posteriormente adentrarse en una perspectiva sociocultural de las ciencias que halla en la revisión de documentos originales una herramienta para la enseñanza de las ciencias, incluyendo también el impacto que tiene la enseñanza ahistorica de las ciencias en un país como Colombia y el papel que puede jugar la revisión de documentos originales en estas discusiones, se finaliza la introducción definiendo el rumbo que tomara el presente trabajo para la realización de una recontextualización sobre una recontextualización en el campo del electromagnetismo.

Para empezar, se puede señalar que la forma en la que se ve y se argumenta el desarrollo científico constituye una perspectiva historiográfica de las ciencias. En la historiografía tradicional, por ejemplo, la ciencia es vista como un conjunto de saberes que no guardan relaciones entre sí. Aquí el papel del historiador es relatar cada uno de los hechos científicos más relevantes, de manera separada. Por otra parte se encuentran posturas historiográficas de comienzos del siglo pasado, como la intelectualista contextual y la histórico – epistemológica. Estas reconocen la ciencia como una construcción humana

(Rodríguez & Ayala, 1996) y por tanto no goza de un carácter de verdad absoluta, como lo expone la perspectiva tradicional. Una última perspectiva reconoce el carácter cultural de las ciencias. Lo cual implica que cada comunidad posee una forma de ver y argumentar el mundo. Además la validez y difusión de sus explicaciones está determinada por dicha comunidad.

Cada una de las perspectivas expuestas con anterioridad posee una forma de ver la ciencia y así mismo constituye una imagen de esta. En el caso de la historiografía tradicional, la ciencia es vista como un producto con carácter de verdad absoluta y sus contenidos no poseen relación entre sí. Por lo cual la ciencia es acumulativa y cada nueva explicación se encuentra más cerca de una verdad universal. En la perspectiva intelectualista contextual e histórico-epistemológica la ciencia adquiere un carácter histórico, es decir, las teorías deben ser situadas unas con relación a otras, pues no pueden aparecer casualmente, rompiendo así el carácter evolutivo de las ciencias. Por último, la imagen de ciencia que expone la perspectiva sociocultural establece que la ciencia, al ser desarrollada por un grupo humano organizado bajo parámetros culturales específicos, no goza de verdades absolutas, sino que cada comunidad construye una forma de ver y argumentar el mundo, que le permite actuar sobre él. Además, la validación y difusión de cada teoría del conocimiento científico está limitada por el contexto socio-cultural específico en el cual es desarrollada.

La perspectiva sociocultural de Kuhn plantea que la ciencia no puede ser solo un producto, cuyo propósito en la enseñanza es ser memorizado por los estudiantes, sino que la ciencia debe ser vista como una actividad realizada por un grupo humano. De tal manera que la historia es usada para establecer un diálogo con el pasado, que permita la comprensión y asimilación de las teorías y que guíe las acciones en el aula. Es en este punto es donde la recontextualización de saberes históricos y la revisión de documentos originales adquieren un sentido pedagógico.

En la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural se reconoce el papel que juega el estudiante en la construcción de conocimiento. El estudiante posee un conocimiento previo y es importante a la hora de acercarse a una cierta teoría ya que sin este no se podría establecer diálogo alguno. Por tanto, su conocimiento es válido y puede ser argumentado a través de la experiencia. Aquí el papel del maestro no es otro que el de guiar

dicha experiencia, reconociendo que es el estudiante el responsable de su aprendizaje y que sus ideas previas son fundamentales en las construcciones llevadas a cabo en el aula. El diseño de actividades y la disposición de espacios de discusión son el principal recurso que amplía dicha experiencia. Por último, las dinámicas evaluativas estarán direccionadas hacia la capacidad que posee el estudiante para argumentar y defender su punto de vista frente a un fenómeno o grupo de fenómenos.

Es debido a que la revisión de originales y la recontextualización de saberes desempeñan un papel importante en la perspectiva sociocultural de las ciencias, que se ahondará en una descripción un poco más amplia, presentando un marco más definido de esta postura. Resaltando, además, el papel de la historia y la historiografía de las ciencias en la imagen y enseñanza de las mismas a propósito de la perspectiva sociocultural.

Thomas Kuhn físico teórico norteamericano expresa un sinsabor frente a la imagen de ciencia que se presenta a través de los libros de texto tradicionales. En estos se exponen los contenidos científicos de tal manera que la ciencia parece ser un compendio de teorías bien acabadas, con una continuidad cronológica y en donde el papel del historiador se reduce a ubicar la fecha y al científico que desarrolla una teoría particular. Lo cual se convierte en un problema a la hora de hilar una teoría con otra y de encontrar la génesis de las mismas (Kuhn, La estructura de las revoluciones científicas , 1962, págs. 33-50).

Kuhn destaca que el principal elemento para el desarrollo científico, que además ha permitido la consolidación de comunidades científicas, no es otro que las *revoluciones científicas*. Este concepto se refiere a aquellos momentos de la historia en los cuales las explicaciones a fenómenos físicos han adquirido una postura totalmente contraria o diferente a la mirada bajo la cual el fenómeno o grupo de fenómenos habían encontrado explicaciones. Tal es el caso de la luz, que, en principio, se inscribe en explicaciones corpusculares pero con los desarrollos de Young, Huygens y Fresnel se instaura en una visión ondulatoria, que responde de una manera más amplia y pertinente a las necesidades que demanda el fenómeno.

Así, esta perspectiva del desarrollo científico resalta la labor de las comunidades y no de los individuos en la consolidación de conceptos, leyes y teorías, dichas comunidades se establecen bajo una forma particular de ver y argumentar el mundo. De tal manera que se pierde el carácter de verdad absoluta bajo el cual se trivializa la física, pues cada comunidad

posee una forma particular de explicar los fenómenos, por lo tanto no hay una teoría mejor que otra, sino que hay puntos de vista que pueden resultar más o menos pertinentes e inteligibles.

En cuanto a la enseñanza de las ciencias bajo los enfoques de esta perspectiva, es importante destacar, por un lado, que reconoce el conocimiento cotidiano del estudiante y que es a partir de este conocimiento que son orientadas las dinámicas de clase, el conocimiento no es memorizado sino que se propician espacios de discusión en los que el estudiante argumenta su postura frente al fenómeno. Y por el otro, el papel del maestro está orientado al diseño de actividades que posibiliten las discusiones y que generen problemas cognitivos en el estudiante, para este fin la revisión de documentos originales se vuelve indispensable. Es aquí donde se hallan las génesis de las distintas teorías y es el lugar en el que el docente puede encontrar herramientas para el diseño de propuestas de aula. Cabe resaltar que dicha revisión será orientada por los objetivos del docente, es decir, dependiendo de lo que el docente considera pertinente abordar se destacarán o atenuarán aspectos de la teoría, por lo tanto la revisión debe ser realizada de manera juiciosa, para que posibilite en el docente criterios con los cuales juzgar la pertinencia de los contenidos.

Ahora bien, en los últimos años la globalización cultural, económica y política de las naciones ha sentado estándares o niveles de desarrollo, ligados íntimamente con el grado de industrialización de un país. Acogidos a este orden mundial Colombia y Latinoamérica se ven obligados a tomar medidas para participar competitivamente en el mercado mundial, donde la eficiencia y calidad están a la base de dicha participación. Ahora, si bien la eficiencia y calidad tienen un carácter objetivo, pues son reconocidos universalmente bajo parámetros absolutos, las formas o caminos que un gobierno toma para llegar a ellas no lo son, ya que estas se ven permeadas por el contexto en el cual se enmarca dicho gobierno, es decir, cada nación debe reconocer sus necesidades y capacidades para poder actuar en pro de un desarrollo.

Así, esta mirada tecnocrática del desarrollo es llevada al ámbito educativo, donde se educa en función de las necesidades de la industria y se retoman estándares de países desarrollados como guías o rutas para alcanzar un mayor grado de desarrollo. Como lo señala la profesora María Mercedes Ayala (Ayala M. M., 2004):

“Se ve como indispensable el desarrollo educativo según los estándares internacionales y el fortalecimiento de una cultura académica mediante la formación de tradiciones investigativas ancladas en los trabajos de investigación que adelantan los países desarrollados científica y tecnológicamente. Los sistemas educativos y académicos de los países desarrollados se convierten en una referente de mejor calidad y eficiencia al que hay que tender.”

Lo anterior impide que Colombia en el ámbito educativo reconozca sus necesidades, su contexto y desarrolle sus propias propuestas, que guíen las formas en las cuales se puede llegar a la eficiencia y calidad en la educación. En este sentido y a partir de su práctica pedagógica el docente debe conciliar el contexto cultural con la componente disciplinar, generando espacios reflexivos para el estudiante que le permitan entender y actuar sobre el mundo.

En la actualidad los docentes de física en Colombia y Latinoamérica se ven abogados a aprender los contenidos científicos desde dos perspectivas, a propósito opuestas, de la física, la primera es una mirada ahistórica de la física donde se presentan los productos de la labor científica (conceptos, leyes y teorías) a manera de catálogo y el papel del estudiante está limitado a la aprehensión de dichos productos, mientras que la segunda otorga gran importancia al papel de la historia en la construcción del conocimiento científico presentando la física como una actividad y no como un producto terminado, posibilitando espacios de reflexión en los cuales las ideas previas de los estudiantes se ubican en el centro de las discusiones. (Romero & Rodríguez, 1999).

Ahora bien, en el caso particular del electromagnetismo son reconocidas básicamente dos perspectivas, que configuran miradas opuestas alrededor de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Cada una de ellas no solo posee diferencias en cuanto a su tratamiento matemático sino que también en la imagen de mundo físico que representan. Otro aspecto importante de ambas perspectivas es que poseen dos características fundamentales. La primera de estas características, es que bajo el seno de sus explicaciones se hallan un número reducido de científicos, quienes a través de sus trabajos luchan por dotar a sus teorías de un carácter hegemónico y la segunda es que dichas teorías no cubren los fenómenos físicos en su totalidad, por lo tanto la lucha no solo se da en cuanto a desarrollar la “mejor” teoría para la descripción de un fenómeno particular sino que también se busca que dicha teoría tenga cabida en fenómenos de naturaleza diferente. Ambas características, en palabras de Kuhn

(1962), constituyen un paradigma. El primero de estos paradigmas se encuentra representado por científicos como Coulomb, Ampere y Poisson quienes trabajan bajo la misma línea de Newton solo que en el campo de la electricidad y el magnetismo y no en el de la mecánica. En este paradigma se conciben las acciones físicas como acciones que se dan a distancia, además de un espacio vacío, homogéneo e isotrópico. En el segundo paradigma los representantes llevan los nombres de Faraday y Maxwell principalmente, cuya mirada de los fenómenos físicos concibe una acción física contigua y un universo continuo. En la enseñanza del electromagnetismo desde una mirada ahistórica de la ciencia se suele omitir la diferenciación entre estos dos paradigmas o perspectivas, lo cual genera imágenes contradictorias en el estudiante (Ayala M. M., 2006), pues se pasa espontáneamente de una a otra sin hacer hincapié en las diferencias de fondo o inclusive en las razones de por qué cambia el tratamiento matemático entre ambas posturas.

Si bien una de las consecuencias de la enseñanza ahistórica de la física y el uso de los libros de texto tradicionales impiden en cierta medida que el estudiante reconozca la física como actividad desarrollada por un grupo humano, que expresa una forma particular de ver, pensar y entender el mundo, también genera en sus estudiantes un imaginario, un tanto trivial, sobre el hombre de ciencia. En la enseñanza de las ciencias e incluso en los libros de texto especializados para tal fin, es usual que se presenten los contenidos científicos como desarrollos teóricos que solo un reducido número de personas ha logrado organizar y formalizar en un lenguaje matemático atribuyendo cualidades que rivalizan con la esencia humana de quienes logran tales objetivos. Es, en este sentido, que los autores de ciencia adquieren una imagen antagónica a la de los hombres, en tanto que parecen desvincularse de sus contextos culturales para dedicar su vida a la producción intelectual. Así mismo, las ideas, conceptos, leyes y teorías, todas ellas producto de esta actividad intelectual parecen estar al resguardo de sus autores, quienes evidencian poco entusiasmo por compartir o divulgar sus logros.

A esto la revisión de documentos de primera mano aparecen como una herramienta para dilucidar las relaciones que el autor establece con su contexto y la forma en la que este último influye en la consolidación de sus ideas, para que posteriormente puedan ser expuestas tanto en comunidades especializadas como en comunidades cuya formación en ciencias no

es la más amplia. Ahora bien, llevar leyes y teorías cuya construcción goza de un amplio tratamiento matemático a una comunidad que no posee las habilidades para acercarse óptimamente a estas últimas, representa un desafío incluso cuando se es el dueño de tales ideas. Es un trabajo que demanda la construcción de dinámicas que privilegien la posición de quien se aproxima al conocimiento y no de quien lo expone, por tanto es una actividad de recontextualización, que reconoce un estado cognitivo inicial al igual que un contexto particular que demandan unas necesidades puntuales y que a su vez enmarcan la manera en la que el individuo se aproxima al conocimiento.

Bajo la situación presentada, se expone un caso particular de la física, a saber, el caso de la teoría electromagnética clásica desde los trabajos del físico sueco James Maxwell, donde se hace evidente como la construcción de una teoría científica está ligada a las relaciones que el autor establece con el contexto en el cual se encuentra inmerso y de cómo estas relaciones humanizan al científico y a su actividad, pero más importante se expone cómo los productos de la actividad intelectual cobran sentido en la medida en la que son recontextualizados, en este caso, por sus autores, en la medida en que pueden ser entendidos y puestos a discusión por diferentes comunidades, cuyas formas de pensar y de entender el mundo difieren ampliamente unas de otras. Son pues, estas discusiones las que permiten la consolidación de un conocimiento legítimo, que no es aprehendido ni memorizado, sino que guarda íntima relación con la realidad del sujeto y puede, por tanto, ser puesto en práctica (Ayala M. M., 2006). Lo anterior se desarrolla con los ojos puestos en la enseñanza de las ciencias, pues se buscan herramientas para la construcción de dinámicas que garanticen la consolidación de un conocimiento legítimo en el estudiante. Un conocimiento argumentado que le permita la generación de espacios de diálogo y discusión frente a ideas pre-establecidas y denominadas científicas.

Se empieza por definir brevemente al sujeto de ciencia situándolo en un contexto particular y bajo unas dinámicas particulares, para posteriormente revisar sus trabajos alrededor del electromagnetismo, donde se encuentra, a grandes rasgos, dos grupos de textos, por un lado, se hallan los textos especializados cuyo objetivo es comunicar de manera detallada y con rigurosidad un conjunto de ideas y teorías a una comunidad especializada, que goza con las habilidades cognitivas e incluso técnicas para aproximarse eficazmente a

los contenidos de dichos textos, y por el otro se hallan un tipo especial de textos cuyo objetivo primario es el de difundir las ideas científicas del autor en contextos que no poseen las habilidades necesarias para aproximarse a los textos del primer tipo, en estos segundos textos el autor presenta sus ideas de una manera en la que los tratamientos matemáticos se ven reducidos ampliamente, recurriendo así a otro tipo de herramientas, que serán expuestas más adelante, con las cuales puede facilitar la comunicación entre las ideas cotidianas y las ideas científicas. Lo anterior representa un trabajo de recontextualización por parte del científico, en este caso Maxwell, que manifiesta su expreso interés de este último por compartir y difundir una teoría física, que puede resultar ampliamente complicada si se revisa con todo el rigor del caso, con comunidades de estudiantes que inician en el mundo de las ciencias y cuyas ideas sobre la filosofía natural hasta ahora empiezan a edificarse. La revisión de estos textos se hace a la luz de las palabras de Maxwell, pues se pretende contrastar sus planteamientos frente a la filosofía natural con lo que plasma en sus textos de difusión, con el objetivo de encontrar relaciones entre uno y otro medios de comunicación de tal manera que se puedan sacar conclusiones sobre la forma en la que el autor piensa las ciencias y su enseñanza. Para lograr el objetivo anterior se presenta en primer lugar una conferencia de Maxwell en el King's College of London, donde se evidencian varios aspectos de carácter pedagógico en su discurso para posteriormente ser contrastados, por un lado con sus textos especializados (*Tratado de electricidad y magnetismo*) y por el otro con sus textos de difusión (*Tratado elemental de electricidad*) de esta manera se hilan las primeras relaciones entre las ideas expuestas desde un medio de comunicación oral y otro escrito. Por último, se organizan los hallazgos de tal manera que puedan ser direccionados a la enseñanza del electromagnetismo en nuestros días poniendo en relieve las herramientas del pasado que pueden ser traídas al presente y que pueden cobrar sentidos pedagógicos, por lo cual se pretende hacer una recontextualización sobre una recontextualización.

## PLANTEAMIENTOS DE PARTIDA

Antes de comenzar el trabajo se presentan los planteamientos iniciales que pueden ser tomados como las hipótesis sobre las cuales, en principio, se estructura el trabajo y que por ende guían la revisión tanto de los documentos originales como las relaciones que pueden ser establecidas entre estos.

## PLANTEAMIENTO GENERAL

Existe un interés por parte de la comunidad científica en llevar, a contextos no especializados, aquellas ideas que son resultado de la actividad científica y, como consecuencia inmediata, existe una actividad recontextualizadora por parte de los científicos pronunciados sobre sus formas particulares de ver y entender el mundo.

## PLANTEAMIENTO ESPECÍFICO

Es Maxwell un científico preocupado no solo por la divulgación de sus teorías científicas en contextos especializados, sino que sus esfuerzos incursionan en el campo de la enseñanza de las ciencias, particularmente del electromagnetismo, donde priman los intereses de quien se aproxima al conocimiento y no de quien ya los posee. Y así, como consecuencia, cuales son las dinámicas metodológicas por las cuales el científico cumple tales objetivos.

## METODOLOGÍA

Como se señaló brevemente en la introducción, el trabajo se realizó en aras de la enseñanza del electromagnetismo, con el objetivo de encontrar herramientas para su difusión y enseñanza, a partir de la revisión de documentos originales que pudieran posibilitar un panorama más contextualizado sobre las discusiones que se desarrollaron en torno al electromagnetismo y que permitieron configurar todo un esquema de pensamiento sobre los fenómenos de tan particular naturaleza. Se revisó en primera instancia y con brevedad la historia del electromagnetismo, desde aquella que sería la primera evidencia experimental de la estrecha relación entre la electricidad y el magnetismo y que tuvo lugar hacia 1820 con el físico dinamarqués Christian Oersted<sup>1</sup>, hasta los hallazgos de Heinrich Hertz en el campo de las ondas electromagnéticas hacia 1887. Es a partir de esta revisión que se opta por trabajar alrededor de los trabajos de Maxwell, debido, por un lado, a que dedicó algunos años de su vida a la docencia en diferentes instituciones de formación en ciencias, lo que en principio podría facilitar la búsqueda de herramientas para la enseñanza del electromagnetismo en la actualidad y por el otro, a que su obra se ubica en un lapso de tiempo en el cual las ideas sobre las relaciones entre electricidad y magnetismo habían llegado a un punto de madurez suficiente como para que Maxwell diera un paso gigante en lo que sería la primera unificación

---

<sup>1</sup> Oersted encuentra que al pasar un imán suspendido por un hilo en cercanías de un alambre que transporta una corriente eléctrica este tiende a reorientarse perpendicularmente al alambre.

formal de los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos bajo una misma naturaleza física conocida con el nombre de electromagnetismo.

Posterior a la escogencia de este autor, se realiza una revisión de sus textos sobre electromagnetismo, lo cual permite una primera discriminación de sus textos ya que el autor también desarrollo ideas en el campo de la dinámica de gases, la teoría del calor, astronomía, física estadística, por mencionar algunos de los campos donde sus contribuciones fueron de vital importancia para el desarrollo de la física. Cuando se revisan sus documentos sobre electromagnetismo se encontraron básicamente dos grupos, el primero de estos grupos se caracteriza por registrar detalladamente las ideas de Maxwell alrededor de los fenómenos electromagnéticos sin restringir el uso riguroso del formalismo matemático, además presenta los contenidos sin realizar una introducción a sus ideas, por lo tanto el lector no solo debe gozar con destreza en el campo de las matemáticas sino que también debe estar familiarizado con los conceptos e ideas ya desarrolladas sobre electromagnetismo hasta el momento en que fue escrito el documento, lo anterior implica que este tipo de texto sea un texto especializado, puesto que exige unos requisitos mínimos para quien decide iniciar su lectura, en este grupo se encuentran textos como: *On Faraday Lines of Force*, *On Physical Lines of Force* y, por supuesto, la que sería su obra cumbre en el campo del electromagnetismo *A Treatise on Electricity and Magnetism*. En el segundo grupo de textos se hallan aquellos en los que el autor reconoce un estado cognitivo de partida que difiere del que poseen las comunidades especializadas o científicas y por tanto no solo realiza una introducción a los conceptos de base, sino que los construye a medida que el lector avanza a través del texto. Este tipo de texto puede ser considerado como un texto de difusión en el cual el autor tiene como objetivo encaminar al lector hacia la construcción de ideas científicas desde su cotidianidad, posibilitando reflexiones sobre fenómenos eléctricos y magnéticos, entre estos documentos se encuentran algunas de sus charlas y conferencias celebres como: *Inaugural Lecture at King's College London*, *On Action at a Distance* y *Introductory Lecture on Experimental Physics*, además de su *Elementary Treatise on Electricity*.

A continuación se realizó una lectura detallada de la conferencia dictada en el King's College de Londres, ya que en esta se destacan varios aspectos de carácter pedagógico, que no solo están asociados al cuerpo de la filosofía natural, sino que están encaminados a la

forma en la cual debe ser presentado este cuerpo de leyes y teorías, reconociendo al sujeto como un ser con ideas previas y a la experiencia como el camino más sólido en la apropiación de una idea y en la construcción de conceptos. Es a partir de la lectura de este documento que se ubican unas ciertas categorías, organizadas en el cuadro 1 (Anexo 1), cada una de las cuales es seleccionada con el objetivo de develar el pensamiento de Maxwell frente a la enseñanza de la física, siendo este el documento indicado ya que Maxwell comunica de manera oral a la comunidad académica la forma en la que él entiende y organiza la filosofía natural para fines de la enseñanza, pues será el encargado la cátedra de física para los estudiantes del King's College. Seguidamente a la organización de las categorías, que se explicaran en detalle más adelante en el apartado de recontextualización sobre una recontextualización, se retoma el *Elementary Treatise on Electricity* debido a que este es un texto que pertenece al segundo grupo de documentos discriminados previamente, por lo tanto tiene unos fines pedagógicos y de difusión, lo cual permite contrastar, por un lado, lo que Maxwell comunica en torno a la enseñanza de la física de manera oral y por el otro lo que presenta desde una vía de comunicación escrita. De esta manera, lo que se encuentra en el tratado elemental puede ser organizado bajo las categorías que emergen de la conferencia inaugural sin perder de vista la forma en la que se documentan estas fuentes.

## MAXWELL – CONFERENCIAS

Maxwell se desenvuelve en el ámbito de la docencia durante varios años en tres instituciones diferentes: el Marischal College de Aberdeen<sup>2</sup>, el King's College de Londres<sup>3</sup> y el laboratorio Cavendish de Cambridge<sup>4</sup> en cada una de estas instituciones desempeña el papel de catedrático, en las dos primeras se hace cargo de una cátedra teórica sobre la filosofía natural mientras que en la última su labor consiste en dirigir una cátedra experimental, cuyo plan de estudios fue claramente delimitado por el senado de la universidad “Enseñar e ilustrar las leyes del Calor, Electricidad y Magnetismo; dedicarse él mismo al avance del conocimiento de tales temas; y promover su estudio en la universidad.” (Ron, 1998). Tras su paso por las tres instituciones Maxwell deja evidencia documentada de su posición frente a la forma en la que el conocimiento debe ser presentado a los estudiantes bien sea en el campo teórico o en el campo de la experiencia organizada, así, se encuentran los dos documentos de sus charlas inaugurales sobre filosofía natural y su conferencia introductoria sobre física experimental. Estos textos hacen parte del segundo grupo de documentos mencionados en la introducción y que se encuentran destinados a comunidades neófitas en el ámbito de las ciencias, además permiten, de manera directa, develar los pensamientos del autor frente a temáticas que no necesariamente tienen que ver con la ciencia en sí misma, sino con la forma en la que esta puede ser discutida entre las comunidades especializadas y no especializadas.

En el King's College de Londres Maxwell pronunció la conferencia inaugural para los nuevos estudiantes en el año de 1860. En esta conferencia toca aspectos que rivalizan con la ya instaurada imagen de científico y de su actividad, además expone con gran claridad su posición frente a la enseñanza de las ciencias e incluso se pueden dilucidar algunos aspectos en el campo del conocimiento y de su apropiación. Conjuntamente expone un esquema general de la forma en la que se encuentra organizada la *filosofía natural* y el lugar que esta ocupa con respecto a ciencias como la matemática y la química, definiendo brevemente cada

---

<sup>2</sup> Maxwell dictó la cátedra sobre Filosofía Natural durante cuatro años (1856-1860). Maxwell contraería matrimonio con la hija del *Principal* (rector), de esta institución, Katherine Mary Dewar.

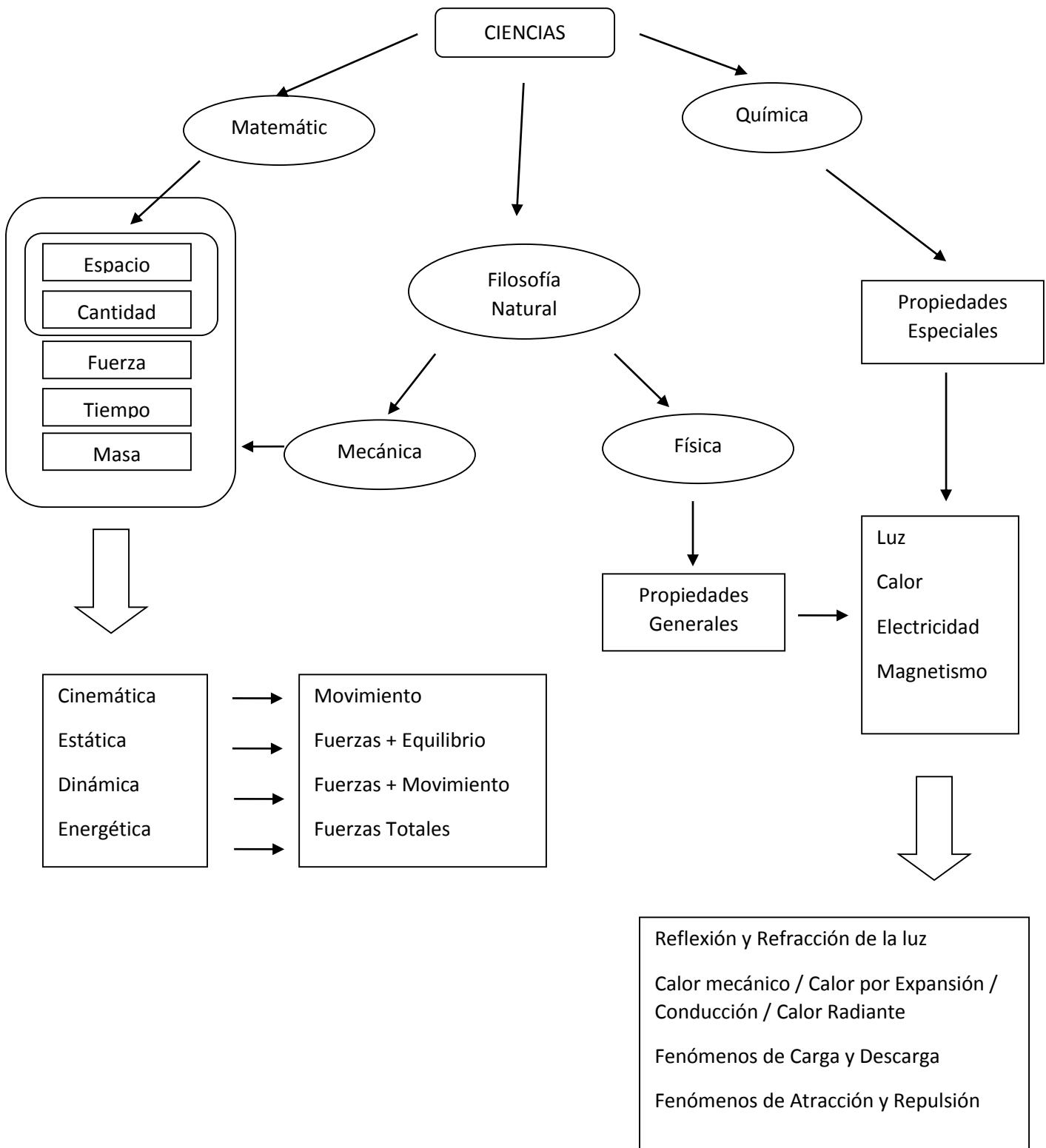
<sup>3</sup> El King's College es una universidad pública de Londres fundada en 1829 y a la cual se vio vinculado Maxwell entre los años 1860 y 1865. Es aquí mismo donde escribe *On Physical Lines of Force* (1861-1862)

<sup>4</sup> En 1871 Maxwell acepta hacerse cargo de la recién inaugurada cátedra de física experimental en la Universidad de Cambridge, además de supervisar la construcción del laboratorio Cavendish.

una de sus partes y las relaciones que pueden ser establecidas entre ellas, es importante resaltar que para este momento el termino ciencia - científico ya había sido introducido por W Whewell en 1833 y ampliamente difundido en Europa, aunque físicos de la talla de Faraday se opusieran al monte, pues restringían su campo de acción ya que su objetivo era la comprensión de las relaciones globales que establecen en el mundo y no solo aquellas restringidas por la ciencia, razón por la cual, para Faraday, el termino de filosofo natural es más pertinente (Levinas). Así, se presenta rápidamente el ordenamiento que Maxwell desarrolla para la filosofía natural de la época junto con sus relaciones y características fundamentales, para posteriormente entrar a revisar sus comentarios frente a las formas en la que los estudiantes pueden acercarse a las ciencias de la naturaleza.

Para Maxwell, la *filosofía natural* en el siglo XIX se encuentra dividida en dos grupos fundamentales de conocimiento, por un lado se halla la mecánica y por el otro la física. La mecánica se encarga del estudio de los sistemas que pueden estar bien en reposo (estática) o en movimiento (dinámica) y cuya área del conocimiento está enmarcada por la matemática. La física por su parte, está asociada a aquellos fenómenos de la luz, el calor, la electricidad y el magnetismo y su estudio se encuentra enmarcado por la química. Cabe resaltar que estos campos corresponden a los que Kuhn denomina ciencias Baconianas, que surgen gracias al resquemor que presenta Roger Bacon frente a una ciencia de carácter meramente teórico y que podían ser agrupadas con las matemáticas, por lo tanto las ciencias son el resultado de una nueva clasificación de las ciencias que ya no solo abarca las ciencias clásicas como la mecánica sino que comprende en general la filosofía experimental o como se suelen denominar la física experimental (Kuhn, 1997).

Así, las relaciones entre los campos de la mecánica, la matemática, la química y física pueden ser organizadas en el siguiente esquema, que como se observa se divide por un lado en mecánica y por el otro en física, que serían correspondientes en palabras de Kuhn a ciencias clásicas y ciencias baconianas respectivamente.



En el esquema se puede notar que Maxwell no concibe las ciencias como conjuntos de ideas ajenos entre sí, sino que establece relaciones de dependencia entre uno y otro campo de las ciencias, por ejemplo, en el lado de la mecánica se hace uso de las matemáticas para definir las nociones de cantidad y espacio, pero se adicionan las ideas de tiempo, masa y fuerza, creando así un cuerpo completo para el estudio de los cuerpos que se encuentran bien sea en reposo o en movimiento, estática y dinámica respectivamente. Mientras que en la química, los fenómenos como los cambios de presión, cambios de temperatura o incluso generación de ondas sonoras, consecuencia de la reacción entre dos sustancias esencialmente diferentes (reacción química) son fenómenos que le corresponde a la física explicar a pesar de que hayan sido desencadenados todos por un fenómeno químico, pues la misión de la química es la de describir las proporciones en las cuales las sustancias deben ser combinadas y las cantidades que resultan de la reacción. Es aquí donde se encuentra la característica más importante que tiene la *filosofía natural* y es el hecho de que estudia la materia y sus relaciones sin distinguir la esencia de los cuerpos involucrados en el fenómeno de estudio, en palabras de Maxwell (Maxwell, 1860) “*Natural Philosophy, therefore, treats of those properties of matter which do not require us to conceive of different substances as essentially distinct – of the general properties of matter, as distinguished from the especial properties of certain substances*”<sup>5</sup>

En esta conferencia es fácil notar como Maxwell no solo concibe la *filosofía natural* como un compendio de leyes y teorías, que en su momento fueron desarrolladas y compiladas por científicos, quienes a través de una ardua labor lograron organizar un cuerpo de verdades absolutas e irrefutables, sino que por el contrario Maxwell señala que hay una imposibilidad de los hombres hacia la adquisición de un conocimiento verdadero sobre el mundo natural y que lo único que el hombre de ciencia puede hacer es acercarse a explicaciones que no contradigan las leyes de la razón y que no nieguen ciertos principios primeros de verdad (Maxwell, 1860).

“When we examine the truths of science, and find that we can not only say “this is so” but  
“This must be so for otherwise it would not be consistent with the first principles of truth” or

---

<sup>5</sup> La filosofía natural, por consiguiente, trata sobre las propiedades de la materia que no requieren que concibamos las diferentes sustancias como esencialmente distintas, ni que las propiedades generales de la materia se diferencian con base en las propiedades especiales de ciertas sustancias.

even when we can only say “This ought to be so, according to the analogy of nature,” we should think what a great thing we are saying, when we pronounce sentence on the laws of creation, and say they are true, or right when judged by the principles of reason. Man has indeed a very partial knowledge of the simplest real thing.”<sup>6</sup>

En la cita anterior es claro como Maxwell no presenta a la ciencia como un sistema de verdades producto de la actividad científica, sino como una interpretación de los fenómenos físicos, en simpatía con las estructuras de pensamiento y con las formas de ver y entender las dinámicas que se llevan a cabo en el mundo físico de quienes las desarrollan. Es entonces, para Maxwell, la actividad científica una actividad humanizada en la medida en que involucra las formas de pensamiento de sus participantes y en tanto que sus resultados no pueden constituirse ni mucho menos perpetuarse como verdades irrefutables. Y que esta imagen sobre el desarrollo científico que expone Maxwell no solo debe prevalecer en la mente de aquellos autores de ciencia sino que debe salir a flote en la mente del estudiante de ciencia como consecuencia del avance en sus estudios (Maxwell, 1860).

“He will see as he advances that the laws of nature are not mere arbitrary and unconnected decisions of Supreme Power, but that they form essential parts of one universal system, in which infinite Power serves only to reveal unsearchable Wisdom and eternal Truth”<sup>7</sup>

Ahora bien, bajo esta forma de ver la ciencia, Maxwell expone que el hecho de aprehender los productos de la actividad científica e incluso memorizar expresiones matemáticas que sintetizan una determinada ley o teoría no garantiza que el estado de conocimiento después de haber realizado dicho proceso sea más elevado del que lo era en el punto de partida, pues es solo a partir de la comprensión de los principios que se puede llegar a la adquisición de estructuras de pensamiento limpias de contradicciones y sobre las cuales

---

<sup>6</sup>Cuando examinemos las verdades de la ciencia, y encontremos que no podemos decir únicamente “Esto es así” sino que “Esto debe ser así porque de otra manera no sería consistente con los principios primeros de verdad, o aun cuando solo podamos decir “”Esto debería ser así de acuerdo con la analogía de la naturaleza”, deberíamos pensar en lo grandioso de lo que estamos diciendo cuando nos pronunciamos sobre las leyes de la creación, y decir que ellas son verdaderas, o correctas cuando son juzgadas por los principios de la razón. El hombre tiene, en verdad un conocimiento muy parcial de la cosa real más simple.

<sup>7</sup>Él verá, a medida que avance, que las leyes de la naturaleza no son meras decisiones arbitrarias y desconectadas del Poder Supremo, sino que forman parte esencial de un sistema universal, en el cual, el Poder infinito sirve sólo para revelar la imposibilidad de la búsqueda de la sabiduría y la verdad eterna.

es posible edificar estructuras de mayor complejidad, pues la adquisición de una idea lleva consigo la construcción de un sistema de verdades que dependen de ella (Maxwell, 1860).

“If a man understands what Force means, I have only to secure his attention, and I can prove to him, as many propositions as I please, but if he has not the fundamental idea, no amount of demonstration will give it him. He must think for himself till he gets it”<sup>8</sup>

En este punto Maxwell es muy reiterativo ya que, para él, es a partir del entendimiento y apropiación de los principios físicos sobre los cuales se edifica la filosofía natural que el estudiante puede construir un conocimiento legítimo, desde el cual pueda a su vez desarrollar un cuerpo de conceptos e ideas sólido con el cual abrirse paso en las explicaciones de los fenómenos físicos haciendo uso del lenguaje matemático sin pensar en el riesgo de olvidar las ecuaciones formuladas (Maxwell, 1860).

“I shall endeavour to show you here, what you will find to be the case afterwards, that principles are fertile in results, but the mere results are barren, and that the man who has got up a formula is at the mercy of his memory, while the man who has thought out a principle may keep his mind clear of formulae, knowing that he could make any number of them when required”<sup>9</sup>

Como consecuencia, es importante notar cómo la actividad memorística de las expresiones matemáticas se ve relegada a un segundo plano frente a la comprensión de los fenómenos físicos. Pues si bien el hombre de ciencia debe ser riguroso a la hora de expresar sus resultados en un lenguaje científico no debe olvidar por ningún motivo que la ciencia estudia el mundo real y los fenómenos que acontecen en este, por tanto, cada paso que se dé al simplificar una expresión matemática o al sustituir un término debe estar correspondido con un significado físico o a una interpretación, de lo contrario el uso de esta herramienta solo representará un mero ejercicio algebraico desvinculado del mundo natural (Maxwell, 1860).

---

<sup>8</sup> Si un hombre entiende lo que la Fuerza significa, sólo tengo que captar su atención y le puedo probar tantas proposiciones como yo quiera, pero si él no tiene la idea fundamental, no habrá demostraciones que valgan; él debe pensar y llegar a ella por sí mismo.

<sup>9</sup> Debo concentrarme en mostrarles aquí, lo que encontrarán, llegado el momento, más adelante, que los principios son fértiles en resultados, pero que los meros resultados son estériles, y que el hombre que ha enunciado una fórmula está a merced de su memoria, mientras que el hombre que ha pensado sobre el principio puede conservar su mente libre de fórmulas, sabiendo que puede crear cualquier cantidad de ellas cuando se requiera.

“But as we are engaged in the study of Natural Philosophy we shall endeavor to put our calculations into such a form that every step may be capable of some physical interpretation, and thus we shall exercise powers far more useful than those of mere calculation – the application of principles, and the interpretation of results.”<sup>10</sup>

Hasta este punto es fácil notar en Maxwell una preocupación por la forma en la que el estudiante de ciencia, por un lado, entiende la filosofía natural y por el otro como se aproxima a sus contenidos. Si bien la *filosofía natural* posee un cuerpo disciplinar ampliamente constituido, pues a las ideas que ha desarrollado la física incluye aquellas que la matemática y la química guardan para sí, el estudiante de *filosofía natural* debe entender, antes de aproximarse bien sea a los libros de texto o al campo de la experimentación, que los logros alcanzados en este campo del conocimiento humano constituyen meras aproximaciones a la verdad sobre los secretos del mundo real es en este sentido que los productos de la actividad científica no poseen ningún valor para el sujeto de aprendizaje si no pueden ser interpretados, por tal motivo resulta más enriquecedor que el estudiante tenga una clara apropiación de los principios que yacen detrás de los productos y no de los productos en sí mismos, de tal manera que el conocimiento sea vuelva legítimo y pueda ser llevado a casos que se encuentran en la vida real y no en ejercicios de final de capítulo. (Maxwell, 1860)

“If we can repeat the scientific expressions of physical facts in the classroom, we shall have gained little, unless we are able to recognize these facts when we meet them out of doors, not dressed up for the lecture table, but in that natural retiring form in which they escaped the notice of so many wise philosophers of old”<sup>11</sup>

Ahora bien develar los principios físicos que la naturaleza esconde celosamente es una labor que no solo requiere una mente persuasiva y unos sentidos agudos, sino que también demanda astucia experimental por parte de quien pretende tales objetivos, pues en

---

<sup>10</sup> Pero a medida que nos comprometemos con el estudio de la Filosofía Natural, debemos interesarnos en expresar nuestros cálculos de modo que todo paso sea susceptible de alguna interpretación física, y así, deberíamos ejercitar de una manera más útil nuestros poderes que los del simple cálculo – la aplicación de principios y la interpretación de resultados.

<sup>11</sup> Si podemos repetir las expresiones de hechos físicos en el salón de clase, habremos ganado poco, a menos que seamos capaces de reconocer estos hechos cuando nos los encontremos afuera, no disfrazados para la mesa de conferencia sino en aquella forma de silencio natural a la cual ellos escapan de la mirada de muchos filósofos sabios del pasado.

muchos de los casos la naturaleza no se revela a los sentidos de manera gratuita, por ejemplo, en el campo de la electricidad y el magnetismo, la cualidad eléctrica y magnética de los cuerpos no son cualidades que el hombre pueda detectar por sí mismo, pues ninguno de los sentidos que posee tiene la capacidad de detectar esta cualidad de manera directa, por lo cual es necesario diseñar y construir disposiciones experimentales entre cuerpos que respondan a dichas cualidades, como lo pueden ser algunos metales o incluso cuerpos cargados eléctricamente, así su observación y medición se hará de manera indirecta, pero con la seguridad de que los fenómenos observados son consecuencia de una cualidad particular. En este punto hay que estar muy atento pues no todos los experimentos tienen los mismos propósitos ni la misma pertinencia. Maxwell define, como parte de su conferencia en el King's College, dos grupos principales de experimentos, a saber, experimentos ilustrativos y experimentos de investigación cada uno de los cuales tiene unas características particulares (Maxwell, 1860).

“We shall also have to distinguish between experiments of illustrations, which, like the diagrams of Euclid, serve merely to direct the mind to the contemplation of the desired subject, and experiments of research, in which the thing sought is a quantity, whose value could not be discovered without experiment.”<sup>12</sup>

Maxwell deja ver puntos parecidos cerca de diez años después en su charla sobre física experimental, en la cual vuelve a mencionar la diferencia entre ambos tipos de experimentos (Maxwell, 1871). Experimento de ilustración: “The aim of an experiment of illustration is to throw light upon scientific idea so that the student may be enable to grasp it.”<sup>13</sup> Experimento de investigación: “The ultimate object is to measure something which we have already seen to obtain a numerical estimate of some magnitude.”<sup>14</sup> Lo anterior deja ver una linealidad en el pensamiento de Maxwell frente a la física experimental y frente al propósito de cada uno de los dos tipos de experimentos.

---

<sup>12</sup> También tendremos que distinguir entre experimentos de ilustración que, como los diagramas de Euclides, sirven meramente para dirigir la mente a la contemplación del tema deseado, y experimentos de investigación, en lo que aquello que se busca es una cantidad cuyo valor no se podría descubrir sin el experimento.

<sup>13</sup> El propósito de un experimento ilustrativo es aclarar alguna idea científica de forma que el estudiante sea capaz de captarla.

<sup>14</sup> El objeto último es medir algo que ya hemos visto, obtener una estimación numérica de alguna magnitud.

Como bien menciona Maxwell, los experimentos ilustrativos acompañan al estudiante a lo largo de su vida académica, pues son experimentos que clarifican y consolidan las ideas que ya se han adquirido de manera teórica. Así, el experimento desempeña un papel fundamental en el estudio de la filosofía natural y no puede ser desvinculado en la medida en que el estudiante entienda el fin último de esta ciencia, que no es otro que el de comprender y describir los fenómenos que se dan en el mundo natural y no en los libros de texto. En el caso del estudiante que se remite a los textos de física con el único objetivo de aprobar sus exámenes escritos muy seguramente estará ausente el espíritu investigativo que le invite a corroborar las ideas adquiridas tras largas horas de lectura con los acontecimientos del mundo físico, dejando de lado incluso los experimentos ilustrativos y saltando así las interpretaciones que acompañan tanto las ideas científicas como las expresiones matemáticas que las acompañan. Por lo anterior un filósofo natural no solo debe tener habilidad en los desarrollos mentales sino que en la capacidad, por un lado ver en el mundo físico lo que ya han mencionado otros autores de ciencia y por el otro de reproducir sus ideas en el mundo físico bajo condiciones especiales que el mismo ha dispuesto. Pues, no hay una vía más sólida para la apropiación de un conocimiento legítimo que la de acercarse a una misma idea desde tantas direcciones como sea posible, como lo señala Maxwell (Maxwell, 1871):

“There is no more powerful method for introducing knowledge into the mind than that of presenting it in as many different ways as we can. When the ideas, after entering through different gateways, effect a junction in the citadel of the mind, the position they occupy becomes impregnable. (...) It is natural therefore natural to expect that the knowledge of physical science obtained by the combined use of mathematical analysis and experimental research will be of a more solid, available, and enduring kind than possessed by the mere mathematician or the mere experimenter.”<sup>15</sup>

Es así como Maxwell no solo reconoce la actividad mental como el único camino para la apropiación del conocimiento sino que expone los procedimientos prácticos como otro buen camino para este mismo objetivo, reiterando que las ideas obtenidas usando

---

<sup>15</sup> No existe método más poderoso para introducir conocimiento en la mente que presentarlo de tantas maneras distintas como podamos. Cuando las ideas, después de penetrar a través de distintas puertas, se reúnen en la ciudadela de la mente, la posición que ocupan se vuelve inexpugnable. (...). Por lo tanto, es natural esperar que el conocimiento de la ciencia física obtenido mediante el uso combinado de del análisis matemático y la investigación experimental será de una clase más sólida, asequible y duradera que la poseída por el mero matemático o el mero experimentador.

conjuntamente las dos vías constituirán un conocimiento de mayor solidez y es en este sentido que el docente de física debe ser habilidoso a la hora de diseñar sus clases, pues debe recordar frecuentemente que la física teórica se corresponde con una significación física que puede salir a flote a partir del diseño y construcción de prácticas experimentales que acompañen los pasos que se dan en las cátedras, estos últimos no tienen por qué estar acompañados de los más modernos equipos y los más precisos instrumentos, por el contrario, para cualquier individuo, estudiante o no, serán develadas con mayor facilidad las intenciones detrás de un experimento que se realiza con objetos de su cotidianidad que si se hace con la más alta tecnología y costosos equipos, así los menciona Maxwell (Maxwell, 1871):

“The simpler the materials of an illustrative experiment, and the more familiar they are to the student, the more thoroughly is he likely to acquire the idea which it is meant to illustrate”<sup>16</sup>

Hasta este punto se pueden destacar los siguientes aspectos: la filosofía natural tal y como se hallaba constituida en el siglo XIX no difiere en gran cantidad de lo que hoy en día se denomina como física, pues abarca, exceptuando algunos cuerpos de conocimiento desarrollados recientemente, cada una de las temáticas y contenidos que se encuentran delimitados por esta ciencia, solo que se encontraba dividida en dos grupos principales, el primero de ellos delimitado por la cualidad de movimiento que poseen los cuerpos ponderables y el segundo por aquellas cualidades especiales asociadas a los fenómenos electromagnéticos, calóricos y ópticos. Si bien Maxwell hace una breve introducción para sus estudiantes en la que describe de manera esquemática las relaciones que se pueden encontrar entre cada uno de los campos de la filosofía natural, también establece las relaciones que esta puede configurar con ciencias de diferente índole, como la matemática y la química destacando que la filosofía natural en muchas ocasiones se sirve de las ideas que otras ciencias han desarrollado para aplicarlas a sus explicaciones con tal suerte que se llegue a descripciones más elaboradas del fenómeno. Así mismo la filosofía natural tiene sus límites donde comienza la química y es esta la que usa sus desarrollos e ideas, para completar sus descripciones alrededor de los fenómenos químicos, lo anterior evidencia que Maxwell no concibe a las ciencias como cuerpos de conocimiento aislados, sino que por el contrario,

---

<sup>16</sup> Cuanto más sencillos sean los materiales de un experimento ilustrativo, y más familiares le resulten al estudiante, más probable es que adquiera en profundidad la idea que se quiere ilustrar.

siendo el objetivo último de las ciencias la comprensión del mundo y sus relaciones, estas se entrelazan para configurar un cuerpo más amplio de ideas explicaciones del mundo natural, que si bien no tiene todas las respuestas, si permite una comprensión más holística de la naturaleza, pues para Maxwell, tal y como lo plasma en sus textos, la verdad absoluta se escapa de las manos de los hombres y se esconde bajo misterios irrevelables a los cuales los hombres de ciencia solo pueden configurar un sistema de verdades apodócticas que no violen los principios de la razón y sobre estas levantar un edificio para las ciencias de la naturaleza, que más que describir el mundo tal cual es, presenta unas explicaciones que concuerdan con unas formas particulares de entender el mundo. Ahora bien, Maxwell reitera en varias ocasiones este punto de vista a sus estudiantes, señalando además que el objetivo al cual debe apuntar su formación en el King's College y en su formación posterior no debe ser el de memorizar los conceptos o las expresiones matemáticas que otros han desarrollado sino la de liberar sus mentes a tal punto que estén en la capacidad de descubrir en el mundo real aquellos principios fundamentales que se disfrazan y esconden en la naturaleza, pues no serán tan evidentes como cuando se exponen sobre el escritorio y la pizarra del maestro. Es aquí donde las habilidades experimentales deben salir a flote pues la naturaleza no expone abiertamente sus misterios a los ojos de los hombres, de este modo la audacia en cuanto al diseño de disposiciones experimentales posibilitan en el sujeto una mejor aproximación al entendimiento de los fenómenos físicos, no importa si el experimento es ilustrativo o de investigación ambos concederán otra forma de acercarse a la construcción de ideas válidas o sólidas sobre aspectos científicos.

## MAXWELL Y EL TRATADO ELEMENTAL SOBRE ELECTRICIDAD

A lo largo de su vida académica y tras su paso por diferentes instituciones, Maxwell escribe un sinnúmero de textos científicos en los cuales desarrolla ideas sobre campos de la filosofía natural como termodinámica, estadística, óptica, electricidad y magnetismo. Respecto a estos dos últimos campos, su texto más conocido es el tratado de electricidad y magnetismo, debido a que es una obra cúlpe del trabajo de Maxwell, en la cual el autor recoge todas las ideas sobre los fenómenos eléctricos y magnéticos, que previamente fueron expuestas en textos de menor extensión<sup>17</sup>, y las relaciona de tal manera que puede dar forma

---

<sup>17</sup> *On Faraday Lines of force y On Physical Lines of Force*

a una teoría que concilia la naturaleza, aparentemente diferente, de los fenómenos eléctricos y magnéticos, dicha teoría se conoce actualmente como teoría electromagnética clásica y constituyó uno de los más grandes logros para la física del siglo XIX.

Ahora bien, este no es el único texto que Maxwell escribió para recoger y organizar sus ideas sobre electromagnetismo. En un texto que lleva por título: *An elementary treatise on electricity* TEE, Maxwell expone sus ideas de tal manera que el uso de las expresiones matemáticas se ve reducido drásticamente en comparación con el tratado previamente enunciado. Esta disminución en el uso de la herramienta matemática se ve compensada con el uso de analogías y experimentos. A continuación se presentan algunas ideas que Maxwell expone e incluso desarrolla a lo largo de su tratado elemental, dichas ideas no tienen que ver con características específicas de la teoría electromagnética, ni mucho menos están encaminadas a la comprensión absoluta de la misma, sino que apuntan a encontrar los aspectos más relevantes de la estructura en la que Maxwell presenta sus ideas, ya no para un público especializado y con alta formación en ciencias, como aquel que se acerca a su tratado sobre electricidad y magnetismo, sino para lectores que apenas inician su carrera en ciencias o inclusive aquellos cuyo propósito es el de adquirir las más simples ideas sobre esta área del conocimiento. El texto que se presenta a continuación no está organizado bajo la misma línea en la que se presenta el tratado elemental, por el contrario su orden está determinado por la forma en la que se expuso el apartado anterior.

Para empezar, es importante mencionar que el TEE es una obra incompleta de Maxwell pues su escritura fue interrumpida por su muerte en el año de 1879, es por esta razón que el tratado elemental solo contiene ideas sobre electricidad, omitiendo así los desarrollos en el campo del magnetismo y el electromagnetismo tal y como son presentados en su obra cumbre. Aún así, el apartado sobre electricidad, que también quedó incompleto, es terminado con fragmentos del tratado sobre electricidad y magnetismo, pues Maxwell antes de su muerte dejó indicada las tablas de contenido que darían forma al tratado elemental. La obra fue publicada en 1881 según especificaciones de los allegados de Maxwell<sup>18</sup>. Otro aspecto

---

<sup>18</sup> En el prefacio del tratado elemental el editor, William Garnett, señala que los amigos y personas mas cercanas a Maxwell decidieron completar la obra con fragmentos del “A Treatise on Electricity and Magnetism” pero sin que se perdiera el objetivo principal del documento, que no es otro que el de ser usado con fines pedagógicos.

importante es que varias de las lecturas que componen la obra fueron usadas como parte de las clases en la cátedra experimental en el *Cavendish Laboratory* lo cual permite notar que el fin último del texto no es otro que el de la enseñanza de la filosofía natural tal y como lo deja ver en su prefacio. (Maxwell, 1881)

“The aim of the following treatise is different from that of my larger treatise on electricity and magnetism. In the larger treatise the reader is supposed to be familiar with the higher mathematical methods which are not used in this book, and his studies are so directed as to give him the power of dealing mathematically with the various phenomena of the science. In this smaller book I have endeavoured to present, in as compact a form as I can, those phenomena which appear to throw light on the theory of electricity, and to use them, each in its place, for the development of electrical ideas in the main of the reader.”<sup>19</sup>

Como se desprende de la cita anterior, Maxwell reconoce entre sus escritos dos tipos de texto diferentes. Por un lado se encuentran los textos especializados cuyo objetivo está asociado con desarrollar al máximo habilidades matemáticas en el lector para ser empleadas en el abordaje de los fenómenos de la ciencia y por el otro, están sus textos de divulgación cuyo objetivo es desarrollar en el lector ideas sobre los fenómenos de la ciencia. Esto permite notar en Maxwell una preocupación por llevar aquellas ideas que, tras largas horas de trabajo y revisión constante, han surgido en su mente y sido organizadas en documentos de la más alta complejidad, a un público que apenas se inicia en el sendero de las ciencias. Ahora bien, el hecho de que algunos de sus trabajos estén destinados a comunidades no científicas implica inmediatamente que los métodos por los cuales se presentan las ideas sobre la *filosofía natural* deben ser diferentes de aquellos que ha utilizado en sus textos especializados. Es decir, no solo la reducción en el uso de las expresiones matemáticas será suficiente para exponer con claridad los conceptos e ideas asociadas, en el caso del tratado elemental, a los fenómenos de la electricidad, sino que se hacen necesarias otras formas de abordaje para los fenómenos de tan particular naturaleza. Lo anterior implica un primer trabajo de

---

<sup>19</sup> El propósito del siguiente tratado es diferente del de mi tratado sobre electricidad y magnetismo. En el tratado más extenso se suponía que el lector estaba familiarizado con los más elevados métodos matemáticos los cuales no son usados en este libro, y sus estudios están dirigidos para brindar la capacidad de tratar matemáticamente con varios fenómenos de la ciencia. En este libro más pequeño me he esforzado por presentar, de la forma más compacta como puedo, aquellos fenómenos que aparecen a la luz en la teoría de la electricidad y usarlos, cada uno en su lugar, para el desarrollo de ideas sobre electricidad en la mente del lector.

recontextualización por parte de Maxwell sobre sus escritos científicos, que si se mira con detenimiento demanda dos necesidades diferentes. La primera, y como se ha mencionado en reiteradas ocasiones, es que se hace fundamental reconocer un estado cognitivo diferente de quienes se acercan a los textos de divulgación frente al estado cognitivo de aquellos colegas con los cuales Maxwell mantuvo correspondencia y que contribuyeron en el desarrollo y mejoramiento de sus ideas, y para quienes, en varias ocasiones, fueron dirigidos sus textos especializados. La segunda, como se mencionó brevemente más arriba, tiene que ver con que el tratado elemental fue escrito durante los años en que Maxwell estuvo a cargo de la cátedra experimental en el Cavendish Laboratory por lo cual se utilizó con fines pedagógicos en esta misma cátedra. Esta doble demanda es suplida a través del “método” de Faraday tal y como lo señala en el prefacio del tratado elemental (Maxwell, 1881). *“I have since become more convinced of the superiority of methods akin to those of Faraday, and have therefore adopted them from the first.”* Ahora bien, el método al que se refiere Maxwell no es otro que un método en el que se presentan disposiciones experimentales con las configuraciones más sencillas posibles en las cuales el objetivo no es la obtención de datos sino la comprensión de las cualidades eléctricas o magnéticas de los cuerpos bajo diferentes condiciones o disposiciones experimentales, haciendo uso de los más simples instrumentos.

Antes de continuar, vale la pena señalar que Maxwell fue un gran lector de las ideas y trabajos de Faraday sobre las líneas de fuerza, incluso una de sus obras más importantes lleva el nombre de este científico inglés (*On Faraday Lines of Force*) presentando sus agradecimientos públicamente a través de su prefacio para la primera edición del tratado sobre electricidad y magnetismo. (Maxwell, 1891)

“As I proceeded with the study of Faraday, I perceived that his method of conceiving the phenomena was also a mathematical one, though not exhibited in the conventional form of mathematical symbols. I also found that these methods were capable of being expressed in the ordinary mathematical forms, and thus compared with those of the professed mathematicians.

For instance, Faraday, in his mind’s eye, saw lines of force traversing all space where the mathematicians saw centres of force attracting at a distance: Faraday saw a medium where

they saw nothing but distance: Faraday sought the seat of the phenomena in real actions going on in the medium...<sup>20</sup>

En el tratado elemental, Maxwell define dos tipos diferentes de instrumentos con los cuales se pueden presentar los fenómenos eléctricos para construir ideas solidas sobre dichos fenómenos, por un lado, se hallan los instrumentos utilizados para determinar si la cualidad de electrificación está presente en los cuerpos, pues, como se mencionó en el apartado anterior dicha cualidad no puede ser determinada o medida directamente por los sentidos, por lo tanto se hace necesario disponer de un montaje experimental o instrumentos que permitan detectar dicha cualidad. Otra característica importante de este tipo de instrumentos es que se encuentran electrificados, así, los instrumentos que cumplen ambas condiciones se conocen como instrumentos idiostáticos. Por el otro lado se encuentran los instrumentos que en sí mismos poseen la cualidad de electrificación y llevan el nombre de instrumentos heterostáticos, estos permiten no solo detectar la cualidad sino que también determinar, entre uno y otro cuerpo, cual posee una mayor o menor electrificación, es decir que puede comparar la cualidad de un cuerpo frente a la de otro (Maxwell, 1881, pág. 13). Hasta aquí, ambos instrumentos no pueden indicar en qué medida la cantidad de electrificación de un cuerpo está por encima o por debajo de otro, ya que estos son instrumentos de carácter ilustrativo al igual que las disposiciones experimentales que Maxwell expone en los dos primeros capítulos del tratado elemental, por lo cual su finalidad no es investigativa. Ahora bien, como se mencionó en el apartado anterior, Maxwell expone puntos parecidos cerca de veinte años atrás en su conferencia inaugural en el King's College, alude a dos tipos de experimentos, de investigación e ilustrativos, estos últimos poseen un fin en la enseñanza de las ciencias, por lo cual son experimentos cuyo objetivo apunta a desarrollar ideas sobre los fenómenos físicos, más no medir incontablemente una misma variable para desenmarañar los misterios que aun yacen escondidos tras el fenómeno particular. Así, existe una cierta concordancia entre los discursos orales y las cátedras dictadas por el científico, pues tal y como están

---

<sup>20</sup> Según avanzaba en el estudio de Faraday me di cuenta que su método de concebir los fenómenos físicos era también matemático aunque no viniese presentado en la forma convencional de símbolos matemáticos. También encontré que estos métodos eran capaces de ser expresados en las formas matemáticas ordinarias, y así comparados con los de los matemáticos declarados.

Por ejemplo, Faraday vio, con el ojo de su mente, líneas de fuerza atravesando todo el espacio, allí donde los matemáticos veían centros de fuerza atrayendo a distancia: Faraday vio un medio en donde ellos solo veían distancia: Faraday buscó el asiento de los fenómenos en acciones reales que se propagaban en el medio...

organizados los primeros capítulos del tratado elemental no contienen más que meros experimentos ilustrativos con los cuales se llegan a algunas definiciones sobre el campo de la electricidad.<sup>21</sup>

Por otra parte, Maxwell no solo recurre a la construcción de fenomenologías haciendo uso de instrumentos de la más alta simplicidad para exponer los conceptos inmersos en el campo de la electricidad, sino que también al uso de analogías. Esto no lo hace como un acto casual y sin conciencia, pues de hecho señala cuán importante son las analogías en la comprensión de los fenómenos físicos, y destaca que su uso no puede dejarse al azar, sino que debe ser un proceso meditado y bien construido para evitar confusiones en el estudiante de filosofía natural. Así concibe Maxwell las analogías (Maxwell, 1881, pág. 51).

“In many cases the relations of the phenomena in two different physical questions have a certain similarity which enables us, when we have solved one of these questions, to make use of our solution in answering the other. The similarity which constitutes the analogy is not between the phenomena themselves, but between the relations of these phenomena.”<sup>22</sup>

Por lo cual la primera advertencia que hace Maxwell tiene que ver con no confundir entre que partes se hace la analogía, puesto que una cosa son los fenómenos físicos y otra las relaciones que se dan entre cada grupo de fenómenos, para ilustrar esto Maxwell se remite a las analogías que se pueden dar entre el fenómeno electrostático y la conducción uniforme de calor, ambos son consecuencia de otro fenómeno, a saber, el campo eléctrico y la diferencia de temperatura entre los cuerpos en contacto respectivamente. En este caso la relación sobre la cual se puede hacer la analogía es que tanto el potencial eléctrico como la diferencia de temperatura producen un efecto similar en cada uno de sus campos particulares (termodinámica y electrostática), lo cual no significa que en sí mismas sean similares, pues el potencial eléctrico es un concepto mientras que la diferencia de temperatura es un estado físico, como bien lo señala Maxwell. (Maxwell, 1881, pág. 53)

---

<sup>21</sup>Los dos primeros capítulos del tratado elemental se componen de diez disposiciones experimentales bajo las cuales Maxwell desarrolla toda una fenomenología que ilustra los aspectos más importantes de los fenómenos observados (pág. 1 – pág. 21).

<sup>22</sup> En muchos casos las relaciones en dos problemas físicos diferentes tienen cierta similitud la cual nos permite, cuando hemos resuelto uno de estos problemas, hacer uso de nuestra solución para resolver el otro. La similitud que constituye la analogía no se da entre los fenómenos en sí mismos, sino entre las relaciones de los fenómenos.

“Another limitation to the analogy is that the temperature of a body cannot be altered without altering its physical state. The density, conductivity, electric properties, &c. all vary when the temperature rises.

The electrical potential, however, which is the analogue of temperature is a mere scientific concept. We have not reason to regard it as denoting a physical state.”<sup>23</sup>

De igual manera, para que exista un flujo constante de calor entre cuerpos a diferente temperatura es necesario que ambos cuerpos mantengan dicha diferencia constante, esto implica una demanda continua de energía que evite que los cuerpos lleguen al equilibrio, mientras que por el contrario un cuerpo que se encuentra electrificado puede mantener esta cualidad tanto tiempo como se desee, lo cual deja ver que efectivamente la diferencia de temperatura corresponde a un estado físico mientras que la diferencia de potencial corresponde a un concepto. A continuación se anexa una tabla en la cual se hacen evidentes las relaciones que pueden ser establecidas entre los campos del calor y la electricidad y que pueden servir para la construcción de analogías, dicha tabla fue realizada por Sir W. Thomson en el año de 1842, quien sería el primero en señalar las relaciones entre el fenómeno electrostático y la conducción uniforme de calor, en el documento “*On the Uniform Motion of Heat in Homogeneous Solid Bodies, and its connection with the Mathematical Theory of Electricity*” Como bien lo señala Maxwell (Maxwell, 1881, pág. 51)

<i>Electrostática</i>	<i>Calor</i>
El campo eléctrico	Un cuerpo con diferencias de calor
Un medio dieléctrico	Un cuerpo conductor de calor
El potencial eléctrico en diferentes puntos del campo eléctrico.	La temperatura en diferentes puntos del cuerpo
La fuerza electromotriz que tiende a mover cuerpos electrificados positivamente de un lugar de mayor a un lugar de menor potencial	El flujo de calor por conducción de lugares de mayor a lugares de menor temperatura

<sup>23</sup> Otra limitación para la analogía es que la temperatura de un cuerpo no puede ser alterada sin alterar su estado físico. La densidad, conductividad, propiedades eléctricas, etc. Todas varían cuando la temperatura incrementa.

El potencial eléctrico, sin embargo, el cual es análogo a la temperatura es un mero concepto científico. No tenemos razón para considerar que denota un estado físico.

Un conductor	Un conductor perfecto
La superficie electrificada positivamente de un conductor	Una superficie a través de la cual el calor fluye dentro del cuerpo
La superficie electrificada negativamente de un conductor	Una superficie a través de la cual el calor escapa del cuerpo
Un cuerpo electrificado positivamente	Una fuente de calor
Un cuerpo electrificado negativamente	Un sumidero de calor, que es, un lugar en el cual el calor desaparece del cuerpo
Una superficie equipotencial	Una superficie isotérmica
Una línea o tubo de inducción	Una línea o tubo de flujo de calor

Sobre este anexo Maxwell añade con reiteración:

“We must not conclude from the partial similarity of some of the relations of the phenomena of heat and electricity that there is any real physical similarity between the causes of these phenomena. The similarity is a similarity between relations, not a similarity between the things related.”<sup>24</sup>

La cita anterior deja ver como las analogías deben hacerse de manera cuidadosa, involucrado un proceso de reconocimiento que posibilite, en quien realiza la analogía, determinar cuáles son las partes que se relacionan y con base en ello presentar el discurso que permite esclarecer para un campo de las ciencias lo que en otro se hace evidente.

Si bien Maxwell hace uso tanto de analogías como de la construcción de fenomenologías para presentar sus ideas en el campo de la electricidad a sus estudiantes en el Cavendish Laboratory, estas no son las únicas herramientas de las cuales se vale el científico para construir una metodología para la enseñanza de este campo de la *filosofía natural*, sino que también recurre a un tipo especial de analogías cuyos cimientos yacen enterrados en la relación física-matemática. Como se vio en el mapa conceptual del apartado anterior, Maxwell no concibe las ciencias como cuerpos de conocimiento que se han desarrollado de manera aislada, por el contrario el autor, ha mantenido la firme convicción

---

<sup>24</sup> No debemos concluir por una similitud parcial de algunas de las relaciones entre el fenómeno del calor y la electricidad que hay alguna similitud física real entre las causas del fenómeno. La similitud es una similitud entre las relaciones, no una similitud entre las cosas relacionadas.

de que las ciencias de la naturaleza desarrollan ideas que se entrelazan y constituyen un único cuerpo de conocimiento, que si bien no posee las verdades últimas sobre los misterios del universo, permite mejores aproximaciones que si dichos misterios se abordaran desde campos de conocimiento aislados. Así el estudio de los fenómenos que hacen parte del mundo natural requiere de la mayor cantidad de métodos, instrumentos y técnicas, que permitan la construcción de ideas cada vez más sólidas.

Incluso las construcciones que se hacen desde la física, en la gran mayoría de los casos, se valen de los más rigurosos métodos matemáticos que soportan las observaciones y mediciones hechas en el laboratorio. Ahora bien el uso de las ideas desarrolladas en el campo de la matemática no debe ser un uso desmedido e inconsciente, pues en este punto es fundamental distinguir entre dos grupos que conforman las ciencias en general, por un lado se encuentran las ciencias fácticas cuyo objeto de estudio son los objetos tangibles tal cual se presentan a los sentidos, renunciando a su valor económico y emocional, y por el otro yacen las ciencias formales que se contentan en ocuparse de entes ideales y sus relaciones. (Bunge, 1959, págs. 9-17). Así, la física hace parte del primer grupo y la matemática del segundo. Es por esto que el uso de los conceptos propios de la matemática para ser aplicados al campo de la física debe ser cuidadoso, pues si bien en la matemática el único impedimento entre uno y otro paso son la lógica y la razón, en la física las restricciones están delimitadas finamente por el mundo físico, no ideal. Es así como en la física cada paso que se dé al reducir una expresión matemática debe estar correspondido con un significado físico, pues aunque la lógica permita levantar un sin número de ecuaciones, el mundo físico se alzaría como un muro inamovible, restringiendo el número de relaciones que pueden ser establecidas entre la física y la matemática. Es en este sentido que el uso de expresiones matemáticas o representaciones geométricas cobra un sentido real en la física como ciencia experimental, como lo deja ver Maxwell. (Maxwell, 1881, págs. 46-47).

“Thus we may imagine a vertical plane dividing a man’s head longitudinally into two equal parts, and by means of this imaginary surface we may render our ideas of the form of his head more precise, though any attempt to convert this imaginary surface into a physical one would

be criminal. Imaginary quantities, such as are mentioned in treatises on analytical geometry, have no place in physical science.”<sup>25</sup>

Maxwell no solo menciona de manera explícita, como se deja ver en sus conferencias e incluso en su tratado elemental, sino que también lo expone de manera implícita a través del manejo cuidadoso de sus ideas cuando estas son abordadas desde la experiencia y no desde los desarrollos matemáticos, que si bien simplifican las expresiones matemáticas no poseen ninguna correspondencia física, (Maxwell, 1881, pág. 6)

“In mathematical treatises, the point of reference is taken at an infinite distance from the electrified system under consideration. The advantage of this is that the mathematical expression for the potential due to a small electrified body is thus reduced to its simplest form.

In experimental work it is more convenient to assume as a point of reference some object in metallic connection with the earth, such as any part of the system of the system of metal pipes conveying the gas or water of a town.”<sup>26</sup>

Es claro cómo en la matemática se encuentra definida la idea de infinito, la cual no puede ser aplicada de manera directa en el mundo físico pues no hay entidades que posean magnitudes infinitas tal como se define el infinito en las matemáticas, por tal motivo se buscan, en el caso de la física, cuerpos cuyas cualidades sean, en magnitud, lo suficientemente grandes como para desempeñar el papel de una magnitud infinita cuando esta es comparada con otra. Ahora bien, la geometría, siendo una ciencia formal, también es empleada por los físicos para dibujar ideas, tal y como lo hace Faraday la idea de líneas de fuerza físicas, pues si bien no existen instrumentos que permitan ver las líneas de fuerza atravesando el espacio, si es posible usar las mediciones y resultados encontrados en el laboratorio para dibujar sobre el papel aquellas líneas de fuerza y superficies equipotenciales.

---

<sup>25</sup> Así podemos imaginar un plano vertical dividiendo la cabeza de un hombre longitudinalmente en dos partes iguales, y por medio de una superficie imaginaria podemos hacer nuestras ideas sobre la forma de su cabeza más precisas, pensando que cualquier intento de convertir estas superficies imaginarias en una real podría ser un crimen. Las cantidades imaginarias, tal y como son mencionadas en los tratados de geometría analítica, no tienen lugar en la ciencia física.

<sup>26</sup> En los tratados matemáticos, el punto de referencia es tomado a una distancia infinita del sistema electrificado bajo consideración. La ventaja de esto es que la expresión para el potencial debido a la pequeña electrificación del cuerpo es por lo tanto reducida a su más simple forma. En el trabajo experimental es más conveniente asumir como punto de referencia algún objeto en conexión metálica con la tierra, tal como cualquier parte del sistema de tubos llevando el gas o agua de un pueblo.

Es importante aclarar que no hay una correspondencia directa entre las líneas físicas y las líneas dibujadas, pues estas últimas son solo representaciones sin ningún carácter físico, como lo señala Maxwell (Maxwell, 1881, pág. 44):

“The lines of force and equipotential surfaces may be draw, not in the electric field itself, where the mechanical operation of drawing them might produce disturbance, but in a model or plan of the electric field.”<sup>27</sup>

En las tres últimas citas se hace evidente como Maxwell es consecuente con sus palabras, pues si bien señala de manera oral que la relación física-matemática es de vital importancia para el desarrollo de la física siempre y cuando exista una correspondencia de relaciones, también lo plasma en sus documentos escritos, además es reiterativo en cuanto a la idea de que los vínculos que se establecen, cuando se hace uso de las analogías, se dan entre las relaciones y no entre los fenómenos en sí mismos.

A modo de resumen se pueden destacar los siguientes aspectos; si bien el tratado elemental es un documento donde se refleja el más arduo trabajo de recopilación y síntesis no es un texto que demande las más finas habilidades científicas en el lector por el contrario es un texto que desde su prefacio se muestra ameno a los ojos de cualquier principiante, pues Maxwell señala claramente que es un texto para la enseñanza y difusión de las ciencias, cuyo objetivo yace en la construcción de ideas primeras sobre algunos fenómenos en el estudiante mas no desenmarañar las verdades últimas a las cuales ninguna mente ha llegado. Así, el texto en sí mismo demanda necesidades diferentes de aquellas que resultan inmediatas en los textos especializados y esta es la razón por la cual el autor debe remitirse a la construcción de una metodología diferente, que no solo reduzca el uso de expresiones matemáticas y conceptos físicos, sino que avance junto con el lector en la construcción y pulimiento de dichas ideas. Maxwell encuentra viable el uso de dos herramientas, la primera de ellas es la construcción de fenomenologías a partir de disposiciones experimentales e instrumentos de gran simplicidad, y la segunda es el uso de analogías físicas con las cuales, después de haber comprendido un fenómeno sobre cualquier campo de la física cuyas relaciones sean similares a las que se establecen sobre el fenómeno estudiado en otro campo particular, es posible

---

<sup>27</sup> Las líneas de fuerza y las superficies equipotenciales pueden ser dibujadas, no en el campo eléctrico en sí mismo, donde la operación mecánica de dibujar puede producir perturbaciones, sino en un modelo del campo eléctrico.

construir un puente entre ambos fenómenos que clarifique las ideas que aún permanecen en la oscuridad.

Ahora bien es válido señalar que Maxwell hace algunas anotaciones sobre el uso de ambas herramientas. En cuanto a las disposiciones experimentales el autor menciona que si bien están dirigidas hacia la enseñanza deben tener un carácter ilustrativo en el que se presenten y desarrollen con claridad las ideas alrededor del fenómeno sin ahondar en un fin investigativo y enfocado a la medición incesante de variables para hallar indicios sobre problemas que aún permanecen sin solucionar. En cuanto a las analogías Maxwell señala que si bien para resolver o clarificar ideas que no son tan evidentes en un campo de la filosofía natural se recurre a otro fenómeno en un campo diferente para tejer relaciones, no se debe confundir sobre qué partes hace la analogía; Maxwell señala que la analogía no se hace sobre los fenómenos como tal sino las relaciones que se dan entre cada uno de los fenómenos. Siendo fundamental que el maestro exponga detalladamente estas particularidades de las analogías físicas.

Así mismo en el tratado elemental se pueden encontrar analogías de tipo especial, que están asociadas a la relación física-matemática. Si bien la física y la matemática son ciencias que se ocupan de problemas radicalmente diferentes, es posible establecer relaciones entre ambas disciplinas, que permitan precisar o incluso dotar de credibilidad los desarrollos en un campo particular de la física siendo cuidadosos en no confundir las partes relacionadas pues la física aborda los problemas del mundo fáctico mientras que la matemática crea elementos para solucionar los problemas de la lógica y el pensamiento.

## MAXWELL Y EL TRATADO DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

Como se ha venido mencionando, el TEM de Maxwell constituye su obra cumbre en dichos campos de la filosofía natural por lo cual está dirigido a un público especializado, demandando ideas previas muy elaboradas y bastante completas en el lector. Aquí, el autor recoge cada uno de los desarrollos que se han adelantado sobre electricidad y magnetismo en diferentes lugares y bajo diferentes perspectivas del mundo físico, para posteriormente organizarlos bajo una mirada antagónica a la ya instaurada imagen corpuscular del mundo físico. Así, su objetivo es dotar a la teoría electromagnética de una estructura matemática

que soporte sus ideas y que constate las mediciones experimentales hechas en el laboratorio. Como bien lo señala el autor en su prefacio para la primera edición. (Maxwell, 1891).

“In the following Treatise I propose to describe the most important of these phenomena, to shew how they may be subjected to measurement, and to trace the mathematical connexions of the quantities measured. Having thus the data for a mathematical theory of electromagnetism, and having shew how this theory may be applied to the calculation of phenomena, (...)”<sup>28</sup>

Ahora bien, el TEM se presenta como un esfuerzo por parte del autor para dotar a la teoría electromagnética de cimientos matemáticos con las cuales soportar los hallazgos que tan claramente arrojan las mediciones en el laboratorio, pues la matemática adquiere una importancia real en la física cuando las afirmaciones sobre el mundo natural que se esconden tras una igualdad pueden ser corroboradas con las mediciones experimentales. Así, desde el punto de vista de la matemática, el aspecto más importante de los fenómenos físicos es que estos pueden ser sometidos a mediciones (Maxwell, 1891) y a partir de estas desarrollar procedimientos matemáticos que soporten las ideas y concepciones que se tienen sobre el fenómeno. Como bien lo expone en su prefacio para el TEM, Maxwell señala que la ya instaurada y un tanto hegemónica visión corpuscular del mundo físico goza de gran acogimiento por parte de la comunidad científica debido a que sus tratamientos matemáticos corroboran y predicen lo que se haya por la experiencia en cuanto los fenómenos eléctricos y magnéticos se refiere, a diferencia de los desarrollos de Faraday, cuyas ideas están desprovistas de un lenguaje matemático y por tanto de credibilidad en la comunidad científica. Es en este punto donde Maxwell entra a jugar un papel fundamental para la física del siglo XIX, pues es quien se convierte en conciliador de ambos métodos, por un lado el método matemático y por el otro el método experimental, pues para Maxwell ninguna de las partes se encontraba errada, más bien el problema yacía en la comunicación, en el lenguaje en que son presentados cada uno de los dos métodos (Maxwell, 1891).

---

<sup>28</sup> En el siguiente tratado me propongo describir lo más importante de estos fenómenos, para mostrar cómo estos están sujetos a la medición, y para trazar las conexiones matemáticas de las cantidades medidas. Teniendo así los datos para una teoría matemática del electromagnetismo, y mostrando como esta teoría puede ser aplicada al cálculo de fenómenos.

“I was aware that there was supposed to be a difference between Faraday’s way of conceiving phenomena and that of the mathematicians, so that neither he nor they were satisfied with each other’s language. I had also the conviction that this discrepancy did not arise from either party being wrong.”<sup>29</sup>

Es válido destacar que las ideas de Maxwell no se encuentran en oposición directa con ninguno de los dos métodos para el tratamiento de los fenómenos eléctricos y magnéticos, por el contrario, Maxwell rescata las bondades en cada uno de los dos métodos y es a partir de esto que el autor construye una teoría que concilia ambas posturas.

Si bien el método de Faraday se caracteriza por realizar las más finas y cuidadosas descripciones de los fenómenos de atracción y repulsión entre cuerpos con cualidades eléctricas y magnéticas e involucrar la idea de líneas de fuerza no como un artificio matemático con el cual es posible determinar tanto la magnitud como la dirección de la fuerza que atraviesa el espacio, sino como la representación de un estado físico y particular del medio bajo la presencia de cuerpos con cualidades peculiares, el hecho de no poseer un cuerpo matemático con el cual expresar los hallazgos en el campo de la experimentación generan automáticamente un resquemor por parte de la comunidad científica cuyas “políticas” parecen rechazar lenguajes diferentes a aquel que propicia la herramienta matemática. Por otra parte, aunque el método de los matemáticos pronunciados goza del beneficio de la verificación experimental, pues sus enunciados matemáticos pueden ser corroborados con las magnitudes medidas en el laboratorio, este posee un problema aún más grande que aquel que atormenta al método de Faraday y es sin duda que la interpretación física del fenómeno está totalmente ausente.

Ahora, cuando un científico riguroso se encuentra con la idea de que las acciones físicas observadas por la interacción distante de cuerpos cargados eléctricamente o incluso magnetizados son consecuencia de una fuerza instantánea y a distancia, cuyas causas no son del todo claras, de seguro un sinsabor frente a tan superflua explicación se presentara con prontitud en su mente. Este es el caso de Maxwell, quien expresa su postura años antes de escribir el TEM, en la sección introductoria de un artículo publicado como parte de los

---

<sup>29</sup> Suponía que había una diferencia entre la forma de concebir los fenómenos de Faraday y la de los matemáticos, por lo que ni él ni ellos estaban satisfechos con el lenguaje del otro. Tengo también la convicción de que esta discrepancia no surge porque alguna de las partes este equivocada.

*Scientific Papers* que lleva como título : *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. (Maxwell, 1865).

“The mechanical difficulties, however, which are involved in the assumption of particles acting at a distance with forces which depend on their velocities are such as to prevent me from considering this theory as an ultimate one, though it may have been, and may yet be useful in leading to the coordination of phenomena.”<sup>30</sup>

A esto el autor señala que hay otra forma de abordar los fenómenos que se encuentra en su línea de pensamiento siendo esta el camino que decide tomar para desarrollar en el TEM (Maxwell, 1891).

“These physical hypothesis, however, are entirely alien from the way of looking at things which I adopt, and one object which I have in view is that some of those who wish to study electricity may, by reading this treatise, come to see that there is another way of treating the subject, which is no less fitted to explain the phenomena, and which, though in some parts it may appear less definite, corresponds, as I think, more faithfully with our actual knowledge, both in what it affirms and in what it leaves undecided.”<sup>31</sup>

Este camino no es otro que el de los modelos mecánicos. Cuando Maxwell se inicia en el electromagnetismo no lo hace desde los trabajos de los matemáticos alemanes sino desde los trabajos de Faraday, *Faraday's Experimental Researches in Electricity* encontrándose con la idea de líneas de fuerza no solo desde un punto de vista geométrico sino que también físico como lo señala en un artículo de sus *Scientific Papers* sobre la acción a distancia. (Maxwell, 1873).

“But Faraday did not stop here. He went on from the conception of geometrical lines of force to that of physical lines of force. He observed that the motion which the magnetic or electric force tend to produce is invariably such as to shorten the lines of force and to allow them to

---

<sup>30</sup> Sin embargo, las dificultades mecánicas asociadas a la suposición de que las partículas actúan a distancia mediante fuerzas que dependen de sus velocidades, son tales como para impedirme considerar esta teoría como la definitiva, aunque pudiese haberlo sido, y todavía pueda ser usada para la coordinación de fenómenos.

<sup>31</sup> Estas hipótesis físicas, sin embargo, son completamente ajenas a la forma de ver las cosas como yo las adopto, y una cosa que tengo presente es que algunos de aquellos quienes desean estudiar electricidad podrían, leyendo este tratado, ver que hay otra forma de tratar el tema, la cual no está menos equipada para explicar los fenómenos, y la cual, aunque en algunas partes podría parecer menos definida, corresponde, como pienso, más fielmente a nuestro conocimiento actual, tanto en lo que afirma como en lo que no precisa.

spread out laterality from each other. He thus perceived in the medium a state of stress, consisting of a tension, like that of a rope, in the direction of the lines of force, combined with a pressure in all directions at a right angles to them.”<sup>32</sup>

Estas ideas penetraron ampliamente en el pensamiento de Maxwell, quien sin dudarlo las trasladó a un lenguaje matemático incluyendo además un modelo de vórtices moleculares para dar explicación a las causas de las fuerzas, que por un lado tratan de acercar los polos de un imán y por el otro mantienen separadas las líneas de fuerza. Para Maxwell, la mejor explicación posible para las consecuencias de ambas fuerzas se hallaba en la ya introducida idea de vórtices moleculares por parte de William Thompson algunos años atrás. Así, según Maxwell, los vórtices moleculares son generados en presencia de cargas eléctricas (estáticas o en movimiento) o cuerpos magnetizados y su eje de giro está determinado por las líneas de fuerza incluso cuando se trata de las líneas de fuerza generadas por cargas en movimiento dentro de un circuito eléctrico y no de cargas estáticas. (Maxwell, 1861, pág. 5).

“Let us suppose that the direction of revolution of our vortices is that in which vitreous electricity must revolve in order to produce lines of force whose direction within the circuit is the same as that of the given lines of force.”<sup>33</sup>

Es a partir de estos modelos que Maxwell construye un cuerpo matemático completo para la teoría dinámica del campo electromagnético cuyos resultados no antagonizan con los hallazgos de los matemáticos alemanes quienes trabajan bajo una visión corpuscular del mundo físico, el lector puede remitirse al texto *On physical lines of force* si desea profundizar sobre estos hallazgos. Ahora bien, lo importante entorno a la idea de vórtices moleculares radica, por un lado, a que llena el espacio aparentemente vacío de un cuerpo material con cualidades mecánicas<sup>34</sup> y por el otro no menos importante es que presenta una explicación

---

<sup>32</sup> Pero Faraday no se detuvo aquí, Pasó del concepto de líneas de fuerza geométricas, al de líneas de fuerza físicas. Observó que el movimiento que la fuerza magnética o eléctrica tiende a producir es invariablemente tal que tiende a acortar las líneas de fuerza y a que se separen lateralmente entre ellas. Entonces percibió en el medio un estado de tensión, como la de una cuerda, en la dirección de las líneas de fuerza, combinada con una presión en ángulo recto a estas.

<sup>33</sup> Déjenos suponer que la dirección de revolución de nuestros vórtices es tal que la electricidad vítrea debe girar para producir líneas de fuerza cuya dirección dentro del circuito sea la misma que la de las líneas de fuerza dada.

<sup>34</sup> Maxwell incluso halla valores numéricos para la densidad, tenacidad, coeficiente de rigidez entre otras cualidades mecánicas del medio, el lector puede remitirse al texto *Ether* (1878) de Maxwell si desea profundizar sobre el tema.

física sobre las causas de los fenómenos que suceden a distancia, es decir, no deja la interacción física a la casualidad sino que reduce el fenómeno electromagnético a una naturaleza mecánica siendo este su objetivo último para el TEM. (Maxwell, 1891).

“Finally, some progress has been made in the reduction of electromagnetism to a dynamical science, by shewing that no electromagnetic phenomena is contradictory to the supposition that it depends on purely dynamical action.”<sup>35</sup>

Ahora bien, se pueden revisar varios aspectos entorno al trabajo de Maxwell en el TEM. Un primer aspecto fundamental y sobre el cual se ha hecho mención en reiteradas ocasiones es que esta obra se expresa con los más rigurosos métodos matemáticos, lo cual no es gratuito, es decir, la obra no se escribe de esta manera por decisión arbitraria del autor, por el contrario y según lo expuesto con anterioridad, casi que se ve obligado a que el texto mantenga fuertes fundamentos matemáticos, pues su objetivo es llevar las ideas de Faraday en el campo de la electricidad y el magnetismo a una comunidad científica que promulga el uso del lenguaje matemático para las ciencias de la naturaleza. Pues si bien para Maxwell el trabajo de Faraday representó una joya para el desarrollo de una teoría del electromagnetismo, cuyo concepto principal no era otro que el de líneas de fuerza, el lenguaje por el cual sus ideas fueron presentadas no fue muy claro para muchos científicos de la época. Así, la labor de Maxwell respecto a esta situación, si se mira cuidadosamente y bajo la lupa del presente trabajo, representa un esfuerzo por parte del autor en cuanto a la recontextualización de la idea de líneas de fuerza. Este trabajo ya no se da entre una comunidad especializada y otra laica, como aquel que el autor desarrolló en sus conferencias o en el tratado elemental, por el contrario se da entre dos comunidades especializadas de las ciencias, por una lado una comunidad de matemáticos alemanes cuyo punto de vista sobre las ciencias se inclina más hacia las matemáticas que hacia la física y por el otro una comunidad que su preocupación está enfocada en la comprensión de las causas físicas del fenómenos y no de las compilaciones enteramente matemáticas. Otro punto importante que se deriva de los aspectos tocados con anterioridad es que Maxwell piensa los fenómenos electromagnéticos como el resultado de interacciones físicas reales no como aquella de la

---

<sup>35</sup> Finalmente, algún progreso se ha hecho en la reducción del electromagnetismo a una ciencia dinámica, mostrando que el fenómeno electromagnético no es contradictorio a la suposición de que este depende únicamente de una acción dinámica.

acción instantánea y a distancia, es por ello que los modelos mecánicos son la primera opción del autor para llevar a un plano sensible las interacciones entre objetos distantes, pues si bien muchas podrían ser las causas de las acciones entre objetos distantes ya sean de inmensas magnitudes como los astros o extremadamente pequeñas como las cargas eléctricas

## EL TRABAJO DE RECONTEXTUALIZACION DE MAXWELL

Como bien se mencionó en la sección introductoria del presente trabajo, cuando se está inmerso en contextos no especializados en el área de ciencias es frecuente encontrar posturas frente a la ciencia y sus practicantes que antagonizan fielmente con una imagen humanizada de la labor que desarrolla el científico. Se suele pensar que la actividad que desarrolla el hombre de ciencias esta desvinculada de sus contextos y de aquellos que podrían estar interesados en acercarse a los productos de la actividad científica o incluso a la misma actividad. Esto es consecuencia de la forma en la que la ciencia suele ser llevada a los contextos de enseñanza pues en muchas ocasiones se omiten aspectos de carácter histórico que posibiliten en el estudiante de ciencias una mirada holística de las teorías científicas, incluso de ser incluidas se incluyen como simples reseñas de carácter bibliográfico sobre un científico particular. Es en este sentido que la revisión de textos originales toma un valor inexpugnable ya que permite conocer entre muchas aspectos no solo las características de las teorías sino el porqué de las mismas situándolas en un contexto que demanda unas necesidades particulares y que a su vez posee unas características diferentes de aquellas que pueden presentarse en la actualidad, por tal motivo la simple revisión no es suficiente si los fines de dicha revisión se hayan en la enseñanza de las ciencias se debe, por supuesto, realizar un trabajo de recontextualización en el que los contenidos que se quieren llevar al aula se vuelvan pertinentes para el estudiante tal como aquel trabajo que realiza Maxwell tanto en sus textos de difusión como en aquellos especializados.

A lo largo de la vida académica de Maxwell es posible distinguir varios momentos asociados a un interés por difundir las teorías científicas bien sea en contextos especializados o en contextos con la más alta formación en ciencias. Esta es una labor que demanda, por un lado, una firme apropiación de las ideas que quieren ser difundidas y por el otro el diseño de metodologías que reconozcan un estado cognitivo y unas necesidades diferentes de aquellas

que pueda poseer el científico, es en este sentido que el papel que juega Maxwell como *filósofo natural* es el de recontextualizador de las teóricas científicas. Entonces, se presentan los aspectos más relevantes entorno a la labor pedagógica de Maxwell no solo alrededor de sus discursos orales o textos de difusión, sino también de aquellos que podrían denominarse especializados.

El trabajo que desarrollo Maxwell a lo largo de su vida revisó una de las obras más grandes para la ciencia y el electromagnetismo del siglo XIX, fue un trabajo que permitió la unificación de tres fenómenos físicos de naturaleza aparentemente diferente, a saber, la electricidad, el magnetismo y la óptica. Este trabajo, como se mencionó previamente, se inscribe en una mirada que reconoce un mundo continuo en el que las acciones se transmiten bajo la contigüidad de los cuerpos. Desde sus inicios en la electricidad y el magnetismo Maxwell evidencia un cierto interés por los trabajos de Faraday, estos últimos encaminados a caracterizar el papel que juega el medio en la interacción de los cuerpos que se encuentran a distancia. Maxwell retoma las ideas de Faraday y desarrolla unos modelos mecánicos para explicar y describir el comportamiento del medio bajo la presencia de cuerpos que exhiben cualidades magnéticas o eléctricas, así, menciona en su TEE entre otros documentos, como para él las acciones eléctricas son el producto de interacciones mecánicas del medio a las cuales nuestros sentidos no tienen acceso (Maxwell, 1881).

“If we further admit that in every part of a dielectric medium through which electric induction is taking place there is a tension, like that of a rope, in the direction of the lines of force, and a pressure in all directions at right angles to the lines of force, we may account for all the mechanical actions which take place between electrified bodies.”<sup>36</sup>

Como se vio más arriba, el uso de modelos mecánicos para la explicación de fenómenos que tienen lugar a distancia puede ser visto como un esfuerzo por parte del científico para llevar a una comunidad igualmente científica explicaciones sobre la acción directa y a distancia que resulten, en palabras de Hertz, “permisibles”, pues como bien lo señala

---

<sup>36</sup> Si admitimos que en cada parte del medio dieléctrico a través del cual la inducción eléctrica tiene lugar hay una tensión, como la de una cuerda, en la dirección de las líneas de fuerza, y una presión en todas las direcciones en ángulo recto a estas líneas, nosotros podemos dar cuenta de todas las acciones mecánicas que toman lugar entre cuerpo electrificados.

Maxwell en su texto *On Action at a Distance* el hombre antes de asumir que la acción es directa e instantánea busca los medios mecánicos que posibiliten una explicación satisfactoria para el fenómeno, es decir, el sujeto busca explicaciones que den cuenta de las causas físicas del mismo mas no decisiones arbitrarias sobre este, pues si bien un punto de vista matemático puede definir las acciones eléctricas como el resultado de la fuerza que es proporcional al inverso del cuadrado de la distancia que lo separa de otro cuerpo con la misma cualidad no constituye una explicación que satisfaga a una mente penetrante. Lo anterior muestra en Maxwell un claro interés en cuanto a las ideas físicas que subyacen los fenómenos. Ahora bien, esto no significa que los resultados obtenidos por los matemáticos sean erróneos, por el contrario cada una de las ecuaciones que describen las acciones a distancia son el resultado arduas horas en el laboratorio, que implican entre otras cosas un diseño y construcción tanto de disposiciones experimentales como de instrumentos que con los cuales realizar mediciones precisas, por lo cual, aunque las descripciones de este tipo sean de carácter meramente cuantitativo se corresponden con el fenómeno observado. A esto Maxwell señala que en efecto los desarrollos matemáticos llevados a cabo por los seguidores de Newton no son equívocos por el contrario gozan del beneficio de la verificación experimental, beneficio del cual prescinde el físico inglés Michael Faraday cuyos desarrollos en torno al tema se enfocaron en descripciones cualitativas del fenómeno y que caracterizan al medio como un agente activo de las acciones aparentemente a distancia. Siendo imposible determinar variables experimentales con las cuales desarrollar ecuaciones que pudiesen sintetizar las observaciones y mediciones.

Es en este punto donde Maxwell entra a jugar un papel de divulgador de las teorías científicas y no precisamente desde textos de divulgación en sí mismos, sino desde sus textos especializados tal y como lo son los dos artículos sobre líneas de fuerza, tanto geométricas como físicas, y su TEM. Pues en este caso particular las partes sobre las cuales se realiza la divulgación científica son homologas a él, así Maxwell encuentra en ambas posturas, física y matemática, lo esencial de cada una, por un lado las descripciones cualitativas del método de Faraday y por el otro los hallazgos cuantitativos de los matemáticos pronunciados, y los unifica bajo un modelo mecánico del mundo físico. Pues como se puede ver incluso en una de sus obras más tempranas el autor parte de suposiciones meramente mecánicas sobre la

acción física de las líneas de fuerza para un cuerpo magnetizado y llega a una expresión para la fuerza magnética idéntica a aquella que promulgan los matemáticos.

Por otro lado, la obra de Maxwell en cuanto a la difusión del electromagnetismo no se resume en su TEM sino que se extiende a varias charlas y al TEE donde hace explícito los fines divulgativos y pedagógicos de los documentos. Estos dirigidos a lectores que se inician en las ciencias que se acercan con el objetivo de empezar un vínculo más cercano con las ciencias de la naturaleza, por tal motivo la metodología que se desarrolla dichos documentos difiere de aquella usada para los documentos especializados. En este punto es importante señalar que la vida de Maxwell no solo abarca la producción intelectual individual, por el contrario cerca de la mitad de su vida estuvo destinada a la enseñanza y formación en ciencias y es de su labor como pedagogo que se desprenden sus textos meramente divulgativos y algunos comentarios frente a la forma en la que las ciencias deben ser presentadas a los estudiantes. A continuación algunas de sus ideas entorno a la enseñanza de las ciencias.

Maxwell expone, en cuanto a la apropiación del conocimiento, que las ideas deben ser presentadas desde el mayor número de direcciones posibles para que estas se anclen firmemente en la mente del sujeto. Así, en el caso de la enseñanza de la *filosofía natural* esta debe ser presentada no solamente desde un punto de vista teórico, sino que también deben incluirse prácticas experimentales en las que se corroboren las afirmaciones presentadas en las cátedras.

Así, en cuanto al abordaje teórico respecta, Maxwell señala que la aprehensión de los productos de la actividad científica no garantiza que el estudiante se vuelva más hábil en el campo de las ciencias, pues puede que su memoria mejore pero no sus comprensiones sobre los fenómenos estudiados. Es así como priman los principios que subyacen los fenómenos físicos sobre los productos de la actividad científica, pues como señala Maxwell en su conferencia en el King's College si se conocen los principios es posible construir cuantas proposiciones sean necesarias aun incluso cuando estas no hayan sido ilustradas previamente. De igual manera sucede con las ecuaciones que puedan surgir en el desarrollo de las cátedras magistrales. Pues de nada sirve memorizar un sinnúmero de ecuaciones y formulas sobre el movimiento de un cuerpo si no es posible reconocerlos cuando se presenten fuera de los libros de texto fielmente escondidos por la naturaleza. Ahora, otro punto importante que se puede destacar sobre el pensamiento de Maxwell entorno a la enseñanza de la *filosofía*

*natural* está asociado al uso de analogías físicas. Las analogías toman su lugar en la enseñanza cuando pueden ser utilizados conceptos que ya han sido entendidos en un campo particular de las ciencias para clarificar algunas ideas que aún permanecen escondidas en otro campo particular de la ciencias. Es así como las analogías adquieren un gran uso en la enseñanza pues permite pasar de una rama de las ciencias a otras con el único objetivo de mejorar las comprensiones sobre una rama particular, por lo cual su uso debe ser cuidadoso y quien la utiliza con fines pedagógicos debe entender y reiterar que la analogía se realiza entre las relaciones de los fenómenos y no entre los fenómenos en sí mismos (Maxwell, 1881).

Ahora, en cuanto a la enseñanza desde el laboratorio, Maxwell señala que quien está a cargo del trabajo experimental debe distinguir entre dos tipos de experimentos, a saber, experimentos investigativos y experimentos ilustrativos, estos últimos direccionados a presentar unas ideas primeras sobre los fenómenos físicos, por tal motivo adquieren mayor pertinencia en la enseñanza de las ciencias que aquellos que se denominan investigativos. De igual manera entre más simples y familiares sean los instrumentos usados para presentar los fenómenos más fácil será que el estudiante capte las ideas que el maestro quiere transmitir (Maxwell, 1871). Se puede notar en Maxwell una fuerte postura en Maxwell respecto a la enseñanza de las ciencias, que advierte que esta debe gozar tanto de una parte teórica como de una parte experimental, ambas complementarias pues hacen parte un mismo grupo de conocimiento (Maxwell, 1871).

“When we shall be able to employ in scientific education, not only the trained attention of the student, and his familiarity with symbols, but the keenness of his eyes, the quickness of his ear, the delicacy of his touch, and the adroitness of his fingers, we shall not only extend our influence over a class of men who are not found of cold abstractions, but, by opening at once all the gateways of knowledge, we shall ensure the association of the doctrines of science with those elementary sensations which form the obscure background of all our conscious thoughts, and which lend a vividness and relief to ideas, which, when presented as mere abstract terms, are apt to fade entirely from the memory.”<sup>37</sup>

---

<sup>37</sup> Cuando seamos capaces de emplear en la educación científica no sólo la atención entrenada del estudiante, y su familiaridad con los símbolos, sino también la agudeza de su ojo, la rapidez de su oído, la delicadeza de su tacto, y la destreza de sus dedos, extenderemos nuestra influencia no únicamente a una clase de hombres que no son aficionados a frías abstracciones, y podremos abrir de una vez todas las puertas del conocimiento,

Así, se encuentra en el trabajo de Maxwell alrededor del electromagnetismo dos trabajos similares en cuanto a que ambos involucran un esfuerzo por llevar ideas científicas a contextos, cuyas características particulares demandan necesidades diferentes de aquellas que atañen, en este caso, a Maxwell. Se habla entonces de un trabajo de recontextualización de teorías científicas en el electromagnetismo por parte de Maxwell. El primero de los cuales se realiza a través de un tipo especial de analogía, que puede ser denominada como relación fisicomatemática, pues se pasa de unos modelos mecánicos para la descripción de las interacciones en el medio a unos modelos matemáticos con el objetivo de que sus ideas puedan ser entendidas por la comunidad científica. Y el segundo, es un trabajo que involucra de manera directamente la enseñanza de las ciencias y en particular la enseñanza del electromagnetismo. En este trabajo, la metodología por la cual son presentadas implica omitir la rigurosidad en el tratamiento matemático de los fenómenos físicos, por lo cual las analogías de las cuales se vale el autor ya no se dan entre matemática y física sino entre las relaciones que se llevan a cabo entre fenómenos meramente físicos. A esto se incluye tanto el trabajo de laboratorio con fines ilustrativos, que complementa de alguna forma las abstracciones hechas en el aula y la presentación de los principios físicos que subyacen los fenómenos de la naturaleza. Lo anterior muestra en Maxwell un firme compromiso con la enseñanza de las ciencias, pues el autor se repiensa las dinámicas que pueden cobrar sentido para el estudiante de ciencias y que le permiten un pensamiento científico y no memorístico. Como bien lo señala en su charla en el King's College

“Shall our descendants be taught to repeat, like the Indian astronomer, statements of facts which had a meaning in former times when men were found who could think? That condition I think need not be ours if we are careful to learn the higher lessons of science, while we study its facts.”<sup>38</sup>

---

asegurándonos así la asociación de doctrinas de la ciencia con estas sensaciones elementales que forman el trasfondo oscuro de todos nuestros pensamientos consientes y que proporcionan vivacidad y ayuda a ideas que, cuando se presentan como meros términos abstractos, son idóneas para desvanecerse totalmente de la memoria.

<sup>38</sup> ¿Deben nuestros descendientes ser enseñados, como los astrónomos indios, afirmaciones de hechos que tuvieron un significado en otras épocas, cuando se encontró hombres que podían pensar? Creo que tal condición no tiene que ser la nuestra si aprendemos cuidadosamente las lecciones más elevadas de la ciencia mientras que estudiamos sus hechos.

Esta cita deja ver una fuerte preocupación por la forma en la que se enseñan ciencias y por las ciencias en sí mismas.

Por otro lado Maxwell señala que el estudio de las ciencias físicas debe estar acompañado por un gusto, debe apasionar a quien las estudia de lo contrario sus esfuerzos no se verán compensados con sus avances. Es así como el estudioso de ciencias debe procurar que su trabajo se conecte con los objetivos que le atañen. (Maxwell, 1871).

“This is the reason why a man whose soul is in his work always makes more progress than one whose aim is something not immediately connected with his occupation. In the latter case the very motive of which he makes use to stimulate his flagging powers becomes the means of distracting his mind from the work before him.”<sup>39</sup>

Ahora bien Maxwell reconoce que el hecho de estudiar ciencias no tiene por qué alejar al estudiante de las relaciones que este último puede establecer con su contexto, pues si bien la labor científica demanda un trabajo riguroso este no tiene por qué ser la única actividad que desarrolle el académico. Como bien lo señala en su charla sobre física experimental. (Maxwell, 1871).

“Hence though some of us may, I hope, see reason to make the pursuit of science the main business of our lives, it must be one of our most constant aims to maintain a living connexion between our work and the other liberal studies of Cambridge, whether literary, philological, historical or philosophical.”<sup>40</sup>

## RECONTEXTUALIZACIÓN SOBRE UNA RECONTEXTUALIZACIÓN

A continuación se presenta una descripción de las categorías y subcategorías que emergen de la revisión de los documentos de Maxwell en el campo del electromagnetismo y que poseen un valor en cuanto a la enseñanza de las ciencias y que pueden ser tomados hoy

---

<sup>39</sup> Esta es la razón por la que un hombre cuya alma se encuentra en su trabajo, siempre consigue progresar más que uno cuyo fin es algo no conectado de forma inmediata con aquello que le ocupa. En el último caso, el mismo motivo del que hace uso para estimular sus flaqueantes fuerzas se convierte en formas de distraer su mente del trabajo que tiene ante él.

<sup>40</sup> En consecuencia, aunque algunos de nosotros podamos, espero, ver la razón para ser la dedicación a la ciencia el asunto principal de nuestras vidas, el mantener una conexión viva entre nuestro trabajo y otros estudios liberales en Cambridge, bien sean literarios, filológicos, históricos o filosóficos, deben de ser uno de nuestros propósitos más permanentes.

en nuestros días incluso como guías o criterios para el diseño y construcción de dinámicas para la enseñanza del electromagnetismo.

*Fenomenología:* Aquí se presentan los diferentes caminos o formas por los cuales se puede interactuar con los fenómenos físicos de cualquier índole, desde aquellas experiencias que están sujetas a la casualidad hasta aquellas que requieren de materiales y disposiciones experimentales de la más alta complejidad. A esta categoría pertenecen las siguientes subcategorías:

- Experiencia sensorial: En esta subcategoría se organizan las ideas de Maxwell frente a la vía (sentidos) por la cual se nos presentan los fenómenos y las limitaciones que esta puede tener a la hora de verse con fenómenos eléctricos o magnéticos<sup>41</sup>.
- Experiencia organizada: Aquí se ubican las disposiciones experimentales a las cuales hace mención Maxwell, que permiten llegar a lugares inaccesibles para los sentidos. Estas disposiciones permiten, por ejemplo, determinar si un cuerpo se encuentra electrificado o no, o si goza de una cierta cualidad magnética, que es información que no se nos puede dar por los sentidos en sí mismos, sino que se requiere de una organización de cuerpos que puedan interactuar sobre una misma cualidad.

---

<sup>41</sup> En su conferencia en el King's College Maxwell señala que las cualidades de electrificación y magnetización no pueden ser determinadas de manera directa por los sentidos con los que cuentan los hombres, en este punto se hace fundamental la organización de experiencias o bien el diseño y construcción de instrumentos.

- Tipos de equipos: En esta subcategoría se introducen los diferentes tipos de equipos experimentales por los cuales se puede organizar la experiencia. Se encuentran, por un lado, equipos cuya intención se ve enfocada a la investigación rigurosa sobre las cualidades de la materia y por el otro, equipos que sirven para instruir a quienes se inician en el campo de las ciencias y que permiten reflexionar sobre las propiedades de los cuerpos bajo su interacción con otros. Así mismo, se encuentran equipos cuyo fin último es determinar cualitativamente si un cuerpo posee una cierta cualidad o no, y equipos que miden de manera cuantitativa dicha cualidad. En la figura 1 se muestra un electroscopio que sirve para determinar si

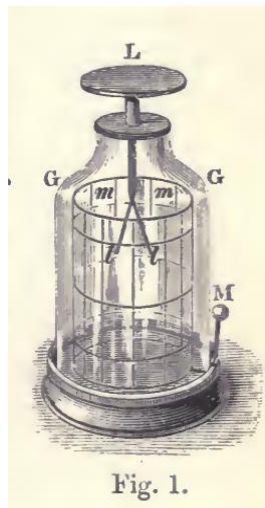


Ilustración 1: Gold- Leaf Electroscope

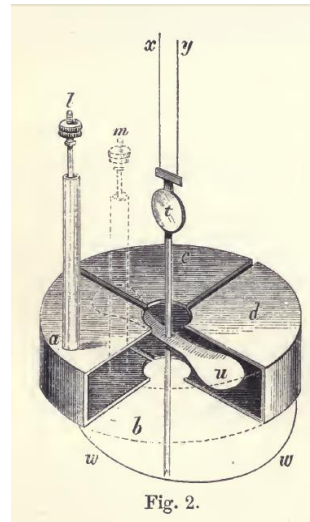


Ilustración 2: Thomson's Quadrant Electrometer

un cuerpo se encuentra electrificado, este equipo en sí mismo no posee dicha cualidad. En la figura 2 se muestra el electrómetro de Thomson por el cual se puede determinar cuál, entre un conjunto de cuerpos electrificados, posee una “mayor” cantidad de electrificación.

*Construcción de conocimiento:* En esta categoría se organizan aquellos aspectos que hacen referencia a las formas en la que el sujeto se puede acercar al conocimiento o incluso como el instructor, en este caso Maxwell, puede guiar a sus estudiantes hacia una apropiación del mismo. Esta incluye las siguientes categorías:

- Conocimiento previo: En esta subcategoría se ubican las ideas de Maxwell frente a su posición respecto a las ideas de base que tienen los estudiantes antes de ahondar en el campo de las ciencias físicas.
- Experiencia: En esta subcategoría yacen las ideas de Maxwell sobre el papel de la interacción entre el estudiante y el fenómeno físico, bien sea desde una simple experiencia sensible y casual hasta una experiencia organizada con todos los instrumentos y equipos de medida necesarios.
- Razonamiento: En esta subcategoría se resalta el papel de la reflexión sobre los fenómenos físicos para la consolidación de ideas que se derivan de la práctica misma.
- Analogías: Aquí se organizan las reflexiones que Maxwell realiza sobre el uso de las analogías para la enseñanza de la física, se encuentra que el uso de las analogías debe ser cuidadoso para no extrapolar cualidades de fenómenos particulares a otros que gozan de algún parentesco.

*Relación Física – Matemática:* En esta categoría se encasillan los aspectos que el autor destaca frente al uso de las matemáticas en la explicación de fenómenos físicos, de lo importante que es mantener el rigor en el uso del formalismo matemático, pero sin olvidar que cada paso en el desarrollo de una expresión matemática debe estar correspondido con una significación física.

- Uso de las matemáticas: En esta sección se ubican algunos ejemplos que presentan como los autores de ciencia utilizan modelos matemáticos y geométricos para organizar sus ideas.
- Límites de la matemática: Aquí se exponen las ideas y comentarios sobre el uso de las matemáticas, de cómo este uso debe corresponderse con una interpretación física.
- Papel del lenguaje: En esta casilla se hace alusión a lo estricto que se debe ser cuando se habla sobre algún concepto en física y de cómo este puede adquirir otra significación en el contexto de las ciencias del que posee en contextos cotidianos.

- Características de las teorías: en esta categoría se introducen aquellos aspectos que pueden ser denotados como convenciones que usa la física para poder describir las relaciones que se dan entre los cuerpos con determinadas cualidades.

*Metodología:* En esta categoría se revisa la forma en la que el autor procede para exponer una u otra idea y las herramientas que usa para puntualizar los conceptos. En esta se encuentran el uso de analogías físicas, analogías matemáticas y la construcción de fenomenologías.

- Presentación del fenómeno: Se ubican los comentarios de Maxwell de la forma en la que presenta los fenómenos físicos en sus diferentes documentos haciendo alusión a la mejor vía para la presentación de los fenómenos físicos.
- Abordaje del fenómeno: se hace referencia a la forma en la que deben ser abordados los fenómenos físicos y como estos deben ser presentados por el tutor que se encarga de llevarlos al aula.

*Unificación de los fenómenos físicos:* En esta categoría se hallan aquellas partes del texto que develan un intento de Maxwell por llevar a los fenómenos físicos a

- Plano mecánico (sensorial): Aquí se ubican las ideas de Maxwell sobre sus intenciones de llevar el electromagnetismo a modelos mecánicos con el fin último de que puedan ser comprendidos.

*Enseñanza de las ciencias:* En esta categoría se introducen los comentarios de Maxwell frente a la enseñanza de las ciencias y la apropiación del conocimiento.

## A MODO DE REFLEXIÓN

Se encuentra que el trabajo de Maxwell en el campo del electromagnetismo no solo comprende un esfuerzo por construir una teoría irrefutable para las ciencias de la electricidad y el magnetismo, sino que, conforme con nuestros planteamientos de partida, el autor expone un firme compromiso con la enseñanza de las ciencias en sus textos de divulgación, sus conferencias e incluso en su vida misma. Y es a raíz de esta preocupación que el autor presenta criterios para la enseñanza de las temáticas de la *filosofía natural* que no se dejan en el aire sino que son recogidas tanto en sus textos de divulgación como en sus textos especializados. Esto es en sí mismo un esfuerzo por parte del autor por recontextualizar aquellas ideas que pueden denominarse científicas en contextos cuyas habilidades en ciencias hasta ahora empiezan a desarrollarse.

Por otra parte, el trabajo realizado permitió encontrar otro tipo de recontextualización por parte del autor que, como ya se ha venido mencionando, involucra dos comunidades especializadas en el ámbito de las ciencias cuyos puntos de vista sobre las ciencias físicas difieren, no porque alguna de las partes este equivocada, más bien se trata de un problema en la comunicación, un problema que radica en el lenguaje por el cual son presentados ambos puntos de vista, es así como Maxwell se convierte en una vía para el dialogo entre ambas partes a través de su TEM. Esto permite que las ideas de Faraday sean escuchadas por una comunidad científica que promulga el uso de la herramienta matemática para la presentación de ideas científicas.

Lo anterior deja ver que la obra de Maxwell fue una recontextualización de las ideas científicas tanto suyas como de sus contribuyentes, es un esfuerzo por construir vías para el dialogo entre partes que presentan maneras de ver, pensar y entender el mundo diferentes. Siendo esta una camino sólido para la enseñanza de las ciencias, un camino que reconoce al otro como un sujeto de pensamiento capaz de estructurar y defender de manera argumentada su posición frente a cualquier fenómeno físico.

## Referencias

- Ayala, M. M. (2004). Historia de las ciencia y formacion de profesores: un analisis contextual. *Fisica y Cultura*, 94-104.
- Ayala, M. M. (2006). Los analisis histórico-críticos y la recontextualizacion de saberes historicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Fisica y Cultura*, 19-37.
- Bunge, M. (1959). *La Ciencia su Metodo y su Filosofía*. Buenos Aires.
- Garay, F. R. (2011). Perspectivas de Historia y Contexto Cultural en la Enseñanza de las Ciencias: Discusiones para los Procesos de Enseñanza y Aprendizaje . 51-62.
- Kuhn, T. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas* . Chicago .
- Kuhn, T. (1997). LA TRADICIÓN MATEMATICA Y LA TRADICIÓN EXPERIMENTAL EN EL DESARROLLO DE LA FISICA.
- Levinas, M. L. (s.f.). La actividad del científico natural . En M. L. Levinas, *Filosofía y Ciencias de la Naturaleza en el siglo XIX*.
- Mawell, J. C. (1865). A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field. En J. C. Maxwell, *Scientific Papers Vol I* (págs. 526-297). Edimburgo: Scottish Academic Press.
- Maxwell, J. C. (1860). Inaugural Lecture at King´s College London.
- Maxwell, J. C. (1861). On Physical lines of Force.
- Maxwell, J. C. (1871). Introductory lecture on experimental physics. (págs. 32-45). Consejo superior de publicaciones científicas.
- Maxwell, J. C. (1873). On Action at a Distance. En J. C. Maxwell, *Scientific Papers Vol II* (págs. 311-323).
- Maxwell, J. C. (1878). Ether. 763-775.
- Maxwell, J. C. (1881). *An Elementary Treatise on Electricity*. Oxford: Clarendon Press Series .
- Maxwell, J. C. (1891). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Clarendon Press.
- Orozco, J. C. (1996). La Dimensión Histórico - Filosófica y la Enseñanza de las Ciencias. *Fisica y Cultura: Cuadernos Sobre Historia y Enseñanza de la Ciencias*, 97-109.
- Rodriguez, L. D., & Ayala, M. M. (1996). La historia de las ciencias y la enseñanza de las ciencias . *Fisica y Cultura* , 75-94.
- Romero, A., & Rodriguez, L. D. (1999). La construccion de la historicidad de las ciencias y la transformacion de las practicas pedagogicas. *Fisica y Cultura*, 3-16.
- Ron, J. M. (1998). James Clerk Maxwell Escritos Científicos. Madrid : Consejo Superior de Investigaciones Científicas .

## ANEXOS

### CUADRO DE CATEGORIAS

<b>CATEGORÍA SUBCATEGORÍA/soporte</b>	<b>FENOMENOLOGÍA (Descripción de los fenómenos)</b>	<b>PROCESO DE CONOCIMIENTO (Formas y fuentes de conocimiento)</b>	<b>RELACIÓN FÍSICA/MATEMÁTICAS</b>
	<p><i>Experiencia sensorial</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La materia puede adquirir una <b>cualidad</b> eléctrica a partir del rozamiento, que puede ser manifestada a través de sus interacciones con materiales que posean esta misma cualidad.</li> <li>2. These phenomena, with others related to them, are called electric phenomena, the bodies between which the forces are manifested are said to be electrified, and the region in which the phenomena take place is called the electric field.</li> <li>3. The idea of an image is most easily acquired by considering the optical phenomena on account of which the term image was first</li> </ol>	<p><i>Experiencia</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. We are equally unable to determine whether the 'velocity of electricity' in the wire is great or small. (...) The only evidence we possess is deduced from experiments on the quantity of electricity evolved during the decomposition of one grain of an electrolyte, and this quantity is enormous when compared with any positive or negative charge which we can accumulate within the space occupied by the electrolyte.</li> </ol>	<p><i>Característica de las teorías</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. We have no physical reason for assigning the name of positive to one kind of electrification rather than to the other. All men, however, are in the habit of calling that kind of electrification positive which the Surface of polished glass exhibits after having been rubbed with zinc amalgam spread on leather. This is a matter of mere convention</li> <li>2. As long as we do not know whether positive electricity, or negative, or both, should be called a substance or the absence of a substance (...)</li> <li>3. According to this view of electrification, we must regard electrification as a property of the</li> </ol>

	<p>introduced into science.</p> <p>4. We are accustomed to make use of the visual impressions we receive through our eyes in order to ascertain the positions of distant objects. We are doing this all day long in a manner sufficiently accurate for ordinary purposes. Surveyors and astronomers by means of artificial instruments and mathematical deductions do the same thing with greater exactness. In whatever way, however, we make our deductions we find that they are consistent with the hypothesis that an object exists in a certain position in space, from which it emits light which travels to our eyes or to our instruments in straight lines.</p> <p>5. We are not provided with a special sense for</p>		<p>dielectric medium rather than of the conductor which is bounded by it.</p> <p>4. These phenomena, with others related to them, are called electric phenomena, the bodies between which the forces are manifested are said to be electrified, and the region in which the phenomena take place is called the electric field.</p>
--	--	--	--

	<p>enabling us to ascertain the presence and the position of distant bodies by means of their electrical effects, but we have instrumental methods by which the distribution of potential and of electric force in any part of the field may be ascertained, and from these data we obtain a certain amount of evidence as to the position and electrification of the distant body.</p> <p>6. Oersted discovered that a magnet placed near a straight electric current tends to place itself at right angles to the plane passing through the magnet and the current.</p>		
	<p><b>Experiencia organizada:</b></p> <p>1. se hace uso de un recipiente metálico aislado (sin electrificar) conectado a un electroscopio, en principio el electroscopio no</p>	<p><b>Analogías</b></p> <p>1. The idea of electric potential may be illustrated by comparing it with pressure in the theory of fluids and with temperature in the theory of heat.</p>	<p><b>Uso de las herramientas matemáticas para organizar los fenómenos físicos.</b></p> <p>1. Faraday in his electrical researches employs the lines of force to indicate, not only the direction of</p>

	<p>detecta la presencia de electrificación, pero si se introduce un cuerpo que si lo está dentro del recipiente, sin tocarlo, el electroscopio abre sus laminas. Ahora, si se toca el recipiente, el electroscopio cerrara sus laminas, pero tan rápido como la esfera sea removida estas volverán a abrirse un mismo ángulo.</p>	<p>2. With respect to the other analogy – that between potential and fluid pressure- we must remember that the only respect in which electricity resembles a fluid is that it is capable of flowing along conductors as a fluid flows in a pipe.</p> <p>3. In many cases the relations of the phenomena in two different physical questions have a certain similarity which enables us, when we have solved one of these questions, to make use of our solution in answering the other. The similarity which constitutes the analogy is not between the phenomena themselves, but between the relations of these phenomena.</p> <p>4. “Another limitation to the analogy is that the temperature of a body cannot be altered without altering its physical state. The</p>	<p>the electric force at each point of the field, but also the quantity of electrification on any given portion of the electrified surface.</p> <p>2. In Mathematical treatises, the point of reference is taken at an infinite distance from the electrified system under consideration. The advantage of this is that the mathematical expression for the potential due to a small electrified body is thus reduced to its simplest form. In experimental work it is more convenient to assume as a point of reference some object in metallic connection with the earth, such as any part of the system of metal pipes conveying the gas or water of a town.</p> <p>3. We may, however, without any such assumption, make use of the idea of entropy, introduced</p>
--	---	---	---

		<p>density, conductivity, electric properties, &amp;c. all vary when the temperature rises. The electrical potential, however, which is the analogue of temperature is a mere scientific concept. We have not reason to regard it as denoting a physical state.”</p>	<p>by Clausius and Rankine into the theory of heat, and extend it to certain thermo-electric phenomena, always remembering that entropy is not a thing but a mere instrument of scientific thought, by which we are enabled to express in a compact and convenient manner the conditions under which heat is emitted or absorbed.</p>
	<p><i>Tipos de equipos para organizar la experiencia.</i></p> <p><b>1. El electróforo de Volta:</b> Permite cargar un par de discos con ambos tipos de electrificación (Este tipo instrumento sirve para “producir” la cualidad que es objeto de estudio, en este caso la electrificación)</p> <p><b>2. Electroscopio:</b> Es un instrumento que permite corroborar si un objeto esta electrificado o no (Este tipo instrumento a</p>	<p><i>Conocimiento previo</i></p> <p>1. The cultivation and popularization of correct dynamical ideas since the time of Galileo and Newton has effected an immense change in the language and ideas of common life, but it is only within recent times, and in consequence of the increasing importance of machinery, that the ideas of force, energy, and power have become accurately distinguished from each other.</p>	<p><i>Alcances de la matemática para explicar fenómenos físicos.</i></p> <p>1. The calculation of the distribution of electrification on the surface of a conductor when electrified bodies are placed near it is in general an operation beyond the powers of existing mathematical methods.</p> <p>2. But as we are engaged in the study of Natural Philosophy we shall endeavor to put our calculations into</p>

	<p>diferencia del anterior permite identificar la presencia o no de una determinada cualidad de los cuerpos, en este caso electrificación. Cabe resaltar que su medición es de carácter cualitativo. )</p> <p><b>3. Electrómetro de Thomson:</b> Este instrumento permite medir cuanta electrificación hay en un determinado cuerpo.(Este tipo de instrumento permite hacer una primer ranking de la cualidad, es decir, permite comparar en que cantidad está presente la cualidad respecto a la presencia de la misma en otros cuerpos.)</p>	<p>2. A particular instance of Faraday's law is that which we have already proved by experiment, namely, that the electrification of the inner surface of a closed conducting vessel is equal and opposite to that of an electrified body placed within it. Here we have a relation between the whole electrification of the inner surface and that of the opposed surface of the interior body. Faraday's law asserts that, by drawing lines of force from the one surface to the other, points corresponding to each other in the two surfaces may be found; that corresponding lines are such that any point of one has its corresponding point in the other; and that the electrifications of the two portions of the opposed surfaces bounded by such corresponding</p>	<p>such a form that every step may be capable of some physical interpretation, and thus we shall exercise powers far more useful than those of mere calculation – the application of principles, and the interpretation of results</p>
--	--	--	--

		lines are equal and opposite. 3.	
	<p><b><i>Tipos de Experimentos</i></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. We shall also have to distinguish between experiments of illustrations, which, like the diagrams of Euclid, serve merely to direct the mind to the contemplation of the desired subject, and experiments of research, in which the thing sought is a quantity, whose value could not be discovered without experiment.</li> <li>2. The aim of an experiment of illustration is to throw light upon scientific idea so that the student may be enable to grasp it</li> <li>3. The ultimate object is to measure something which we have already seen to obtain a numerical estimate of some magnitude</li> </ol>	<p><b><i>Uso de la razón</i></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. When once apprehended it furnishes to the physical enquirer a principle on which he may hang every know law relating to physical actions, and by which he may be put in the way to discover the relations of such actions in new branches of science.</li> </ol>	<p><b><i>Papel del lenguaje</i></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. In strict mathematical language the word Force is used to signify the supposed cause of the tendency which a material body is found to have towards alteration in its state of rest or motion. It is indifferent whether we speak of this observed tendency or of its immediate cause, since the cause is simply inferred from the effect, and has no other evidence to support it.</li> </ol>

		<p><b><i>Hipótesis</i></b></p> <p>1. But if we stand in front of a plane mirror and make observations on the apparent direction of the objects reflected therein, we find that these observations are consistent with the hypothesis that there is no mirror, but that certain objects exist in the region beyond the* plane of the mirror. These hypothetical objects are geometrically related to certain real objects in front of the plane of the mirror, and they are called the images of these objects.</p>	

CATEGORÍA SUBCATEGORÍA/soporte	UNIFICACION DE LOS FENOMENOS FISICOS (Ejercicios de unificación)	METODOLOGÍA (Forma en la que el autor desarrolla o aborda las temáticas de electromagnetismo)	ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS (Comentarios de Maxwell frente a la enseñanza de las ciencias)
	<p><b><i>Relación Mecánica-electromagnetismo.</i></b></p> <p>1. If we further admit that in every part of a dielectric medium through</p>	<p><b><i>Presentación del fenómeno</i></b></p> <p>1. In the larger treatise I sometimes made use of methods which I do not think</p>	<p><b><i>Postura y comentarios del autor</i></b></p> <p>1. Shall our descendants be taught to repeat, like the Indian astronomer,</p>

	<p>which electric induction is taking place there is a tension, like that of a rope, in the direction of the lines of force, and a pressure in all directions at right angles to the lines of force, we may account for all the mechanical actions which take place between electrified bodies.</p> <p>2. I shall endeavor to place in as clear a light as I can the relations between the mathematical form of this theory and that of the fundamental science of Dynamics, in order that we may be in some degree prepared to determine the kind of dynamical phenomena among which we are to look for illustrations or explanations of the electromagnetic phenomena.</p> <p>3. But Faraday did not stop here. He went on form the</p>	<p>the best in themselves, but without which the student cannot follow the investigations of the founders of the Mathematical Theory of Electricity. I have since become more convinced of the superiority of methods akin to those of faraday and have therefore adopted them from the first.</p> <p>2. I have since become more convinced of the superiority of methods akin to those of Faraday, and have therefore adopted them from the first.</p> <p>3. The merit of the method consists in the fact that the thing observed is the absence of any deflexion, or in other words, the method is a Null method, one in which the non-existence of a force is asserted from an observation in which the force, if it</p>	<p>statements of facts which had a meaning in former times when men were found who could think? That condition I think need not be ours if we are careful to learn the higher lessons of science, while we study its facts.</p> <p>2. When we shall be able to employ in scientific education, not only the trained attention of the student, and his familiarity with symbols, but the keenness of his eyes, the quickness of his ear, the delicacy of his touch, and the adroitness of his fingers, we shall not only extend our influence over a class of men who are not found of cold abstractions, but, by opening at once all the gateways of knowledge, we shall ensure the association of the doctrines of science with those elementary sensations which form the obscure background of all our conscious thoughts, and which lend a vividness and relief to ideas, which, when presented as mere abstract terms,</p>
--	---	---	---

	<p>conception of geometrical lines of force to that of physical lines of force. He observed that the motion which the magnetic or electric force tend to produce is invariably such as to shorten the lines of force and to allow them to spread out laterality from each other. He thus perceived in the medium a state of stress, consisting of a tension, like that of a rope, in the direction of the lines of force, combined with a pressure in all directions at a right angles to them.</p>	<p>had been different from zero by more than a certain small amount, would have produced an observable effect.</p>	<p>are apt to fade entirely from the memory.</p> <p>3. There is no more powerful method for introducing knowledge into the mind than that of presenting it in as many different ways as we can. When the ideas, after entering through different gateways, effect a junction in the citadel of the mind, the position they occupy becomes impregnable. (...) It is natural therefore natural to expect that the knowledge of physical science obtained by the combined use of mathematical analysis and experimental research will be of a more solid, available, and enduring kind than possessed by the mere mathematician or the mere experimenter</p>
--	---	--	---

JAMES CLERK MAXWELL'S INAUGURAL LECTURE AT KING'S COLLEGE LONDON<sup>42</sup>

**James Clerk Maxwell**

Editor's note: Maxwell spent the period 1860-65 at King's College. London. This period was one of the most fruitful of the

life. In 1861, soon after his arrival he was elected to the Royal Society (at the age of 29) and his two classic papers on the electromagnetic field were published in

<sup>42</sup> American Journal of Physics 47, 928- 933 (1979).

1862 and 1864. In 1861 he delivered a lecture at the Royal Institution on the theory of three primary colours, and demonstrated a colour photograph using a technique virtually the same as the method of today. The theoretical and experimental work on the viscosity of gases that culminated in his Bakerian Lecture to the Royal Society in 1866, took place during Maxwell's King College years.

The following lecture has never been published. The editor is indebted for this inaugural lecture to Professor C. Domb, the Clerk Maxwell professor of Theoretical Physics at University of London King's College.

### **James Clerk Maxwell's Inaugural Lecture at King's College London, 1860**

Mr. Principal and Gentleman:

The study of Natural Philosophy, when once entered on must preclude us from allowing our minds to dwell upon any ideas nobler than those of matter and motion. We must leave on one side all the questions which interest us as social and moral beings, and all the feelings which incline us to take pleasure in what we see, without inquiring into what lies behind; and turn aside into a region where Force reigns supreme, and recognizes matter as its only subject and where the only theory of action is, that Might makes Right.

When we have commenced our course, it will be too late to speculate on the probable effect of such studies on the ultimate development of our minds, or even on the use of theoretical knowledge, as the prelude to a practical career. We must then give our whole minds to each subject as it comes before us, whether it be

the contest of opposing forces or the paths of moving bodies, and dismiss from our minds everything except what is involved in the problem we have to solve.

If we require to make up our minds as to the relation of Natural Philosophy to other branches of knowledge, to our own education, or to the progress of mankind, we must do it today; for tomorrow our business will not be about Natural Philosophy, but, will be Natural Philosophy itself. I shall now, therefore, endeavour to point out to you how some of these more general views of the subject appear to me, although I am sure that after you have studied the subject yourselves, you will confess that what you heard from me at first but faintly indicated what you learned by experience at last.

Natural Philosophy is the name given in this country to a collection of sciences consisting of two main groups. The first of these consist of Mechanics and includes the general theory of motion and equilibrium, together with the application of mechanical principles to the investigation of the phenomena of nature. The second group of sciences is commonly called Physics, and includes at present the study of Light, Heat, Electricity and Magnetism, and, in general, of those phenomena which we have already referred to more general principles, but which we do not as yet contemplate as the result of known mechanical actions.

Natural Philosophy is bounded on the mechanical side by Mathematics and on the Physical side by Chemistry. Mechanics differs from Mathematics only by involving the ideas of matter, time, and force, in addition to those of Quantity and

Space. The methods employed are the same as in mathematics, and the axioms, or laws of motion, upon which the science is founded are of the same kind as those of geometry.

Chemistry, the science which bounds us on the opposite or physical side, investigates those properties of matter by which one substance is distinguished from another, and it contemplates these substances as differing not merely in the degree in which they produce similar effects but in kind, in their very essence.

In the physical sciences we investigate general properties of matter, and refer them to causes which we conceive to operate on matter in general.

Thus the formation of water by the combination of oxygen and hydrogen is a chemical phenomenon because it depends on the peculiar nature of those two gases, on the proportion in which they are mixed, and on the facilities for combination. Chemistry professes to describe the properties of substances... to define the proportions in which they combine, and to state the conditions under which the union takes place, but it goes no further –it considers these as ultimate facts relating to each different substance.

It belongs to Physics to investigate the amount of heat produced by the union of the gases and the effect of that heat in increasing the pressure, or expanding the combined gases, because the effects of heat, on all substances, though different in degree, are the same in kind, and are subject to general laws which apply to all substances.

The explosion may also produce the mechanical effect of bursting the vessel,

blowing off the cover, or setting the air in vibration, and making a noise. These phenomena, considered as motions of various bodies, produced by forces of known amount, are to be investigated by mechanical methods.

I have taken three different classes of phenomena as illustrations of the subject matter of Chemistry, Physics, and Mechanics. But the difference between these three sciences lies less in the subject studied than in the method of study. In Chemistry we accept a number of elementary substances and study their properties. In Physics we accept certain great natural agencies and study their effects on all kinds of matter. In Mechanics we accept nothing but matter and motion and recognize no difference in matter except arrangement, and no energy in nature except motion.

If anyone could explain by means of known actions of heat, electricity, or any other universal agent, the peculiar properties of oxygen and hydrogen, and the results of their combination, he would have offered a physical explanation of the nature of these substances and he would have transferred certain phenomena from Chemistry into Physics. Those who have attempted to conceive of the chemical elements as different arrangements of particles of one primitive kind of matter, would, if they had been successful, have reduced Chemistry to Mechanics.

No person, however, has hitherto been able to devise arrangements of particles by which chemical phenomena can be explained by the pure science of matter and motion, still less to prove that these arrangements will account for all the

known properties of the substances. But though little has been accomplished in our attack on the chemical doctrine of elementary substances, something has been done towards the mechanical explanation of physical phenomena, and though we cannot be said as yet to know scientifically the exact kind of motion to which such phenomena as heat and electricity are due, yet we have sufficient evidence to show that any labour we bestow in investigating such subjects by the aid of mechanical ideas will not be in vain. Natural Philosophy, therefore, treats of those properties of matter which do not require us to conceive of different substances as essentially distinct –of the general properties of matter, as distinguished from the special properties of certain substances.

We receive from the Mathematicians the idea of Quantity and all the processes of pure mathematics. We take possession of the field in which the mathematician is first trained in the exercise of geometry. We then introduce, in addition to the empty forms of geometry, our own idea of matter, and contemplate bodies placed in different parts of space. This arrangement we consider as subject to change, and thus we arrive at the notion of time and motion. In studying the cause of motion, we arrived at the idea of force and its relation to the body moved. We then regard a body not merely as something requiring a definite amount of matter in the body moved. Thus we acquire the conception of Mass, or quantity of matter, as a measurable quantity, and also that of Energy, or the amount of work which a body is capable of doing, on account of its

motion, or on account of any other slate in which it is. On these conceptions of matter, motion, force, and energy we found the mechanical sciences.

By considering the way in which a body must begin to move, we acquire distinct ideas of the nature of the forces which produce this motion, and we find, that however numerous these forces may be, we can always find a very small number which would produce the same effect. Hence we arrive at the idea of equivalent systems of forces, and the reduction of many forces to a smaller number. In such cases, the forces which we dismiss from our consideration are such as are so balanced as to produce no effect on the body. These balanced systems of forces are said to be in equilibrium, and the consideration of such systems forms the science of Statics.

In all cases in which the forces are not balanced, the science of Statics gives us the means of reducing them to the equivalent system of the form most convenient for our future operations, so that Statics is a necessary foundation for the more general science of Dynamics.

We may also consider the possible motions of a body apart from the causes of that motion. The science of pure motion is called Cinematics or Kinetics, and forms the other foundation of Dynamics.

Dynamics considers the relation between force and motion. The forces are reduced by statics to their simplest form, and the possible motions are brought into a mathematical form by Kinetics, and then these are brought into relation by Dynamics, which is the science of the

motion of matter as produced by known forces.

Force is here considered as the cause of the motion of a body. But Force is always an action between two bodies and is the result of some relation between them. The investigation of the particular relations between bodies which gives rise to particular manifestations of force in nature forms a large portion of Experimental Physics, but there are certain general laws regulating the amount of Energy arising from given conditions, and determining the total effect of the forces called into play which are among the most important conditions of physical science. The science founded on these laws is called Energetics. The application of these principles to natural phenomena is the special research which the present state of science points out as that from which the greatest result are to be expected in the coming age. The work is only begun, and not till we have measured the energies of all known agents, can we hope to make any progress towards a mechanical explanation of their mode of action. Already in Astronomy and in the theory of Heat and Electricity have the principles of Energetics led to new methods of research, to the discovery of unsuspected relations between known properties of matter, and even to the knowledge of new properties, which subsequent investigation has shown to exist.

The doctrine of the convertibility and equivalence of all forms of Energy may hereafter be made the basis of new inquiries, which, starting with the knowledge of the quantitative relations between mechanical energy and the other

forms in which energy exists, such as heat, attraction, etc, will proceed with the investigation of these special forms of energy, and discover, not only the quantity, but the quality of those forms of energy, and ascertain by what arrangements and motions of matter these different phenomena can be accounted for. Statics, Cinematics, Dynamics, and Energetics may be regarded as the four great branches of abstract Mechanics. They may be applied to the equilibrium and motion of matter in various states of aggregation. The forms and dimensions of all known bodies are altered by the pressures which may be applied to them, and by the effects of Heat.

The theory of pressures, of changes of form, and of the relation between pressure and change of form constitutes an important branch of Mechanics and may be called the general theory of Elasticity. The theory of Pressure and Elasticity as applied to fluids is much more simple than in the case of solids, and forms the sciences of Hydrostatics and Hydrodynamics. The agency of Heat in producing similar changes is so intimately connected with that of pressure, that we are obliged to treat of effects of heat and pressure at the same time. We are thus led to those practical applications of the theory of Energetics, which enable us to convert heat into mechanical energy, and form the basis of the theory of the Steam Engine. The general theory of heat consists of four branches:

1. The laws of the production of heat by mechanical, chemical, or electric action, and the conditions of its transformation into other forms of energy.

2. The theory of the effects it produces on bodies by expanding them and changing their state.

3. The theory of the distribution of heat in bodies by conduction.

4. The theory of Radiant Heat.

The nature of radiant heat appears to differ in nothing from that of light. There is no doubt that the light which we see has all the properties of radiant heat, and that dark heat differs from light only in not being visible to our eyes. Radiant heat then, being the same as light, though perceived by a different sense, we prefer to use that organ which gives us most information, and call the radiation, light, and the science Optics. From a few simple facts about reflexion and refraction, we are able to deduce a systematic science, which rivals the mathematical sciences in precision, and has this great advantage, as an educational science, that the elementary phenomena are easily observed. The science of Light, however, is one in which we have not only explained phenomena by referring them to general laws, but in which those general laws have been explained by mechanical theory. To trace the steps by which the nature of the motion which we call Light has been ascertained, is one of the most instructive parts of Physical study, and is most likely to introduce the student into the right path for following out investigations in other paths of science.

Last of all, we have the Electrical and Magnetic sciences, which treat of certain phenomena of attraction, heat, light, and chemical action, depending on conditions of matter of which we have as yet only a

partial and provisional knowledge. An immense mass of facts has been collected, and these have been reduced to order and expressed as the results of a number of experimental laws, but the form under which these laws are ultimately to appear as deduced from central principles, is as yet uncertain. The present generation has no right to complain of the great discoveries already conquered, but to keep up constant operations on the frontier, on a continually increasing scale.

These are the main divisions of the science of matter and its forces. I must now speak of the method of study. We have seen that Physics differs from pure Mathematics in involving a greater number of ideas, while it agrees with mathematics in using these ideas as the foundation of systematic science.

Our first duty must therefore be to acquire true ideas of the various kinds of quantity with which we have to deal. When we have done this, the applications of these ideas to special cases will be comparatively easy. It is this which gives Physical science its peculiar value as a means of education. In all human knowledge, the acquisition of an idea brings with it, as a logical consequence, a certain system of truths dependent on it, but the mental process by which the idea is acquired is of a different order from that by which deductions are made from it. If a man understands what Force means, I have only to secure his attention, and I can prove to him, as many propositions as I please, but if he has not the fundamental idea, no amount of demonstration will give it him. He must think for himself till he gets it.

Now in Natural Philosophy there are a great many different things which must be made our own, before we can have right notions upon what is to follow, and we have this great advantage over the students of many other sciences, that if we once go wrong, errors become manifest as soon as we go a step forward, so that we have no fear of building complacently on a bad foundation, for the whole will go to the ground as soon as we make the first practical application. We are therefore called upon, during our study of natural Philosophy, to clear up our ideas of the fundamental truths on which the science is built, and to test the success of this mental process, by comparing the results with facts. I shall not now enter upon the question whether the fundamental truths of Physics are to be regarded as mere facts discovered by experiment, or as necessary truths, which the mind must acknowledge as true as soon as its attention has been directed to them. Questions of this kind belong to Metaphysical. In this class we do not pretend to study Metaphysics in a formal and direct manner, but if by the careful study of the laws of nature and their dependence on each other we have been trained into watchfulness over the processes of our minds, and clear habits of thought, we shall come all the better prepared for the study of higher problems, whether they are presented to us in a metaphysical shape, or as they occur sooner or later to every thinking man. If we have acquired, not the vague and popular notion that there are laws of Nature, but an acquaintance with some of these laws themselves, in their elementary form, and have been able to form some idea of their

complication, when applied even to cases purposely simplified, we shall have learned a lesson of caution, when we examine higher departments of nature, with the expectation of finding there laws of equal simplicity of expression, and equally agreeable to the present state of development of science.

Physical science affords the exercise which has developed the power of the greatest and most original thinkers. Bacon, though his supply of physical truth was scanty, had his mind fixed upon the discoveries of the future, and he draws both his wisdom and his eloquence from the contemplation of that new era of which he was himself the prophet. Descartes and Leibnitz need only to be names, to recall systems of metaphysics are so intimately connected with the foundations of Natural Philosophy, that we have only to read a few pages of a metaphysical work, if we wish to ascertain the precise limits of the author's knowledge of physical science.

In the course of your studies here, you will find abundant material for the most abstract speculation. But you must recollect that in physical speculation there must be nothing vague or indistinct. The truths with which we deal are far above the region of mist and storm which conceals them from the undisciplined mind, and yet they are solidly built in the very foundations of the world, and were established of old according to number and measure and weight. Nothing that we can say or think here can escape from the ordeal of the measuring rod and the balance. All quantities must be exact quantities, and all laws must be expressed

with reference to exact quantities, so that we have a most effectual means of discovering error, and an absolute security against vagueness and ambiguity.

As we proceed in our course we shall see what part has been taken by experiment, demonstration, and hypothesis, respectively, in the advancement of science; and we shall have to distinguish between demonstrations founded on pure mathematical properties of space or motion, and those which start from a fact determined by experiment or from an hypothetical assumption. We shall also have to distinguish between experiments of illustrations, which, like the diagrams of Euclid, serve merely to direct the mind to the contemplation of the desired subject, and experiments of research, in which the thing sought is a quantity, whose value could not be discovered without experiment. We shall also learn the value of hypothesis in the processes of discovery, and by what method hypotheses may be made useful in relation to the present state of science, without forming an obstacle in the way of further discovery. The student of physical science will find that the method or mode of procedure by which knowledge has been accumulated, and even the process by which he himself masters it from day to day, will furnish him with facts relating to the conditions of human knowledge which he may take with him as guides to the study of other and more complicated subjects. He will see as he advances that the laws of nature are not mere arbitrary and unconnected decisions of Supreme Power, but that they form essential parts of one universal system, in

which infinite Power serves only to reveal unsearchable Wisdom and eternal truth. When we examine the truths of science, and find that we can not only say "this is so" but "This must be so for otherwise it would not be consistent with the first principles of truth" or even when we can only say "This ought to be so, according to the analogy of nature," we should think what a great thing we are saying, when we pronounce sentence on the laws of creation, and say they are true, or right when judged by the principles of reason. Man has indeed a very partial knowledge of the simplest real thing. The nature of a drop of water has in it mysteries within mysteries utterly unknown to us at present, but what we do know, we know distinctly and scientifically, and we may expect that more will be understood in due time. Some facts we know in their first principles, other as experimentally true, we see more before us which we can only guess at as yet, but we are confident that there remains an inexhaustible inheritance of knowledge, not revealed at once, lest we should become proud of our possession, and despise patient enquiry, but so arranged, that as each new truth is unravelled, it becomes a clear, well-established addition to science, quite free from the mystery which involves what lies beyond, and shows that every atom of creation is unfathomable in its perfection. Objections have sometimes been raised to the study of physical science, on the ground of the supposed effect of exact science in making the mind unfitted to receive truths which it cannot fully comprehend. We shall find that it is the peculiar function of physical science to

lead us, by the steps of rigid demonstration, to the confines of the incomprehensible, and to encourage us to apply our minds to that which we do not yet understand, since it is only to those who labour patiently and think steadily, that such mysteries are ever opened. The higher laws of nature are hid from us at present, but, we and those who come after us, will find in the search for them that which will prepare our minds for the next stage of human knowledge; and the discovery of each new law will not only open up new regions of science, but will alter men's expectations of what the laws of nature ought to be. New discoveries must be consistent with the old, for all *facts* are consistent with each other, but there is a vast mass of opinion about scientific facts, which I am certain is susceptible of modification, when the light of new truths is brought to bear upon it. We must be ware of "anticipating nature" and reasoning from the supposed existence in a particular form of laws of which we have not distinct idea, and assuming that the higher laws which we do not yet know are capable of being stated under the same forms as the lower ones which we do know.

When vague ideas are put into the form of physical arguments, we can expect nothing but vague conclusions, and great discredit to the mathematics or physics so desecrated. Vague ideas may possibly give picturesqueness to a declamation, but we must be very careful of them when they are disguised in the form of exact science.

To avoid this vagueness ourselves, we must eventually make use of that method of expression which, by throwing away

every idea but that of quantity, arrives at the utmost limit of distinctness. We cannot express physical facts except in a mathematical form. In this class, as I have said before, we have many *kind* of quantities to deal with and therefore much of our time must be spent in becoming acquainted with these. This corresponds to that part of mathematics which is put in the form of definitions and axioms. But if geometry, or anything more than pure algebra is mathematics, then Natural Philosophy is, and ought to be, mathematics, that is, the science of quantitative relations.

In this class, I hope you will learn not only the mathematical accuracy of expression of which all physical facts are capable, but the mathematical necessity of their interdependence. In this way we will carry with us, not merely results, or formulae applicable to cases that may possibly occur in our practice afterwards, but the principles upon which those formulae depend, and without which the formulae are mere mental rubbish.

I know the tendency of the human mind to do anything rather than think. None of us expect to succeed without labour, and we all know that to learn any science requires mental labour, and I am sure we would all give a great deal of mental labour to get up our subjects. But mental labour is not thought, and those who have with great labour acquired the habit of application, often find it much easier to get up a formula than to master a principle. I shall endeavour to show you here, what you will find to be the case afterwards, that principles are fertile in results, but the mere results are barren, and that the man

who has got up a formula is at the mercy of his memory, while the man who has thought out a principle may keep his mind clear of formulae, knowing that he could make any number of them when required. I need hardly add, that thought be a process from which the mind naturally recoils, yet, that process one completed, the mind feels a power and an enjoyment which make it think little in future of the pains and throes which accompany the passage of the mind from one stage of development to another. It is only by that mathematical training which enables us to see the consequences of the introduction of each new principle into science, that we can fully appreciate the value of these principles, and it is only by arithmetical computation that the ultimate results can be compared with facts. The intermediate portion of mathematical science, which consist of calculations and transformation of symbolical expressions, is most essential to physical science, but it is in reality *pure mathematics*. Everything connected with the original questions may be dismissed from the mind during these operations, and the mathematician to whom they are referred may be doubtful whether his results are to be applied to solid geometry, to hydrostatics or to electricity. But as we are engaged in the study of Natural Philosophy we shall endeavour to put our calculations into such a form that every step may be capable of some physical interpretation, and thus we shall exercise powers far more useful than those of mere calculation—the application of principles, and the interpretation of results. In this class we profess to study Natural Philosophy as an applied science, and we

hope in going so to reap all the benefit to ourselves that can be drawn from the subject. If we studied first principles alone, we should become so familiar with the words and modes of expression of philosophy, that we should think ourselves master of the subject, because we found no scruples in using language which ought to indicate something more than a talking acquaintance with high subjects.

If, dismissing all concern about principles, as too metaphysical for our taste, we were to accept them as mathematical data, embody them in formulae, and grind them together, till we got out  $x$  as one of the roots of an equation, we should have made ourselves a little more expert in algebra, but not otherwise wiser, especially if it should turn out that we could not determine to be practical and instead of working out formulae, had taken the very case which we wished to solve, and had gone to a standard treatise, and copied out the formula which seemed most suitable, and then got out some result by substituting our numbers, we should *most probably*, by some little oversight get a perfectly useless result, and we should *certainly* leave our minds in a more confused state than when we began.

But if, while here, we can once acquire an intelligent conception of physical principles, and by first investigating the mathematical consequences of these in a few cases, and then applying the result to actual experiments or observations, convince ourselves that these principles are not mere abstractions made by philosophers, but the *key* by which we ourselves may interpret what we see every day, and the *charm* by which we may make

the forces of nature do our bidding, then our minds will have received and extension and enlargement which will be *permanent*, for we have been forced to pass from philosophy to carpentry, and from the workshop to the *locus principiorum*, till we have learned by experience that the philosophical and the real is the same thing.

If we can repeat the scientific expressions of physical facts in the classroom, we shall have gained little, unless we are able to recognize these facts when we meet them out of doors, not dressed up for the lecture table, but in that *natural retiring* form in which they escaped the notice of so many wise philosophers of old.

But if we can train our minds to see the physical significance of everything that happens, we shall be in the first *place* able to make use of our opportunities in the various professions to which we may be called, *secondly*, we shall never cease to seek, obtain, and enjoy additional knowledge of the world in which we are placed, and *thirdly*, all the skill and knowledge we lay up will round itself to a perfect whole of Wisdom when all the elements of Science, from the matter exhibits its modes of action, to the mind which perceives them, are felt to be mutually related parts of one great whole. The whole course of history is full of examples showing how the neglect of scientific principles produces, in the first place, the certain failure of every enterprise, *secondly*, how the unscientific mind has been led from one error to another up to the very pinnacle of absurdity, and *thirdly*, how they want of observation, wrongheadedness, and

superstition thus produced have generated systems of philosophy which, by beginning with the contradiction of physical facts, guarantee the through unreality of the whole superstructure. We have no time at present to study the history of physical science. We cannot understand the steps by which the human mind has advanced to its present state of knowledge, till we ourselves have some experience of what that state of knowledge is. When we have encountered and overcome the resistance of our minds to the acquisitions of new ideas, we shall be the better able to appreciate the labours of those, who for the first time thought out those ideas, and transmitted them to us for a perpetual possession. While we feel the difficulties of acquiring knowledge which has been already discovered, and carefully put into the most convenient form for our acceptance, we must remember that the discoverers of that knowledge had to struggle against established notions, and the force of habits of thought to which they themselves had been trained, and to devote the energy of their lives to labours, the results of which *they* saw dimly and *others* not at all.

And now when discoveries have been made and results obtained, when public opinion has changed and everything wearing the garb of science with a view to success in life – shall we forget the man to whom all this is due, and accept the mere results of their labours, without entering into the spirit of their lives? Shall our descendants be taught to repeat, like the Indian astronomers, statements of facts which had a meaning in former times when men were found who could think? That

condition I think need not be ours if we are careful to learn the higher lessons of science, while we study its facts. The conditions of knowledge are always the same desire to know and the same joy in arriving knowledge which encouraged and animated them. Do not check these feelings because you cannot expect mankind to sympathise with your triumph over some elementary proposition. None but yourselves can be partakers of the intellectual fruition which results from the comprehension of a principle, and you should beware how you throw away opportunities of a kind of enjoyment which neither university honours nor

worldly reputation can ever afford. Do not be ashamed because the occasion seems small, but cherish any sensation of pleasure which you now feel in the opening up of the mind to the perception of truth. Nothing is easier than for the youngest of us, by repressing such natural feelings, to acquire a permanently contracted mind. The highest intellectual distinction at which man can aim, is to have preserved and nourished to maturity true liberality of thought, in mind having all its actual knowledge in full and undoubted possession, but always capable to advancing to higher and more comprehensive view of truth.

#### INTRODUCTORY LECTURE ON EXPERIMENTAL PHYSICS<sup>43</sup>

The University of Cambridge, in accordance with that law of its evolution, by which, while maintaining the strictest continuity between the successive phases of its history, it adapts itself with more or less promptness to the requirements of the times, has lately instituted a course of Experimental Physics. This course of study, while it requires us to maintain in action all those powers of attention and analysis which have been so long cultivated in the University, calls on us to exercise our senses in observation, and our hands in manipulation. The familiar apparatus of pen, ink, and paper will no longer be sufficient for us, and we shall require more room than that afforded by a seat at a desk, and a wider area than that of the black board. We owe it to the munificence of our Chancellor, that,

whatever be the character in other respects of the experiments which we hope hereafter to conduct, the material facilities for their full development will be upon a scale which has not hitherto been surpassed.

The main feature, therefore, of Experimental Physics at Cambridge is the Devonshire Physical Laboratory, and I think it desirable that on the present occasion, before we enter on the details of any special study, we should consider by what means we, the University of Cambridge, may, as a living body, appropriate and vitalise this new organ, the outward shell of which we expect soon to rise before us. The course of study at this University has always included Natural Philosophy, as well as Pure Mathematics. To diffuse a sound knowledge of Physics,

---

<sup>43</sup> Cambridge, octobre 1871. *Scientific Papers*, vol. II, 241-255

and to imbue the minds of our students with correct dynamical principles, have been long regarded as among our highest functions, and very few of us can now place ourselves in the mental condition in which even such philosophers as the great Descartes were involved in the days before Newton had announced the true laws of the motion of bodies. Indeed the cultivation and diffusion of sound dynamical ideas has already effected a great change in the language and thoughts even of those who make no pretensions to science, and we are daily receiving fresh proofs that the popularisation of scientific doctrines is producing as great an alteration in the mental state of society as the material applications of science opinions may become current, provided they are expressed in language, the sound of which recalls some well-known scientific phrase. If society is thus prepared to receive all kinds of scientific doctrines, it is our part to provide for the diffusion and cultivation, not only of true scientific principles, but of a spirit of sound criticism, founded on an examination of the evidences on which statements apparently scientific depend. When we shall be able to employ in scientific education, not only the trained attention of the student, and his familiarity with symbols, but the keenness of his eye, the quickness of his ear, the delicacy of his touch, and the adroitness of his fingers, we shall not only extend our influence over a class of men who are not fond of cold abstractions, but, by opening are effecting in its outward life. Such indeed is the respect paid to science, that the most absurd at once all the gateways of knowledge, we shall ensure the association

of the doctrines of science with those elementary sensations which form the obscure background of all our conscious thoughts, and which lend a vividness and relief to ideas, which, when presented as mere abstract terms, are apt to fade entirely from the memory.

In a course of Experimental Physics we may consider either the Physics or the Experiments as the leading feature. We may either employ the experiments to illustrate the phenomena of a particular branch of Physics, or we may make some physical research in order to exemplify a particular experimental method. In the order of time, we should begin, in the Lecture Room, with a course of lectures on some branch of Physics aided by experiments of illustration, and conclude, in the Laboratory, with a course of experiments of research.

Let me say a few words on these two classes of experiments, —Experiments of Illustration and Experiments of Research. The aim of an experiment of illustration is to throw light upon some scientific idea so that the student may be enabled to grasp it. The circumstances of the experiment are so arranged that the phenomenon which we wish to observe or to exhibit is brought into prominence, instead of being obscured and entangled among other phenomena, as it is when it occurs in the ordinary course of nature. To exhibit illustrative experiments, to encourage others to make them, and to cultivate in every way the ideas on which they throw light, forms an important part of our duty. The simpler the materials of an illustrative experiment, and the more familiar they are to the student, the more thoroughly is he

likely to acquire the idea which it is meant to illustrate. The educational value of such experiments is often inversely proportional to the complexity of the apparatus. The student who uses home-made apparatus, which is always going wrong, often learns more than one who has the use of carefully adjusted instruments, to which he is apt to trust, and which he dares not take to pieces.

It is very necessary that those who are trying to learn from books the facts of physical science should be enabled by the help of a few illustrative experiments to recognise these facts when they meet with them out of doors. Science appears to us with a very different aspect after we have found out that it is not in lecture rooms only, and by means of the electric light projected on a screen, that we may witness physical phenomena, but that we may find illustrations of the highest doctrines of science in games and gymnastics, in travelling by land and by water, in storms of the air and of the sea, and wherever there is matter in motion.

This habit of recognising principles amid the endless variety of their action can never degrade our sense of the sublimity of nature, or mar our enjoyment of its beauty. On the contrary, it tends to rescue our scientific ideas from that vague condition in which we too often leave them, buried among the other products of a lazy credulity, and to raise them into their proper position among the doctrines in which our faith is so assured, that we are ready at all times to act on them.

Experiments of illustration may be of very different kinds. Some may be adaptations of the commonest operations of ordinary

life, others may be carefully arranged exhibitions of some phenomenon which occurs only under peculiar conditions. They all, however, agree in this, that their aim is to present some phenomenon to the senses of the student in such a way that he may associate with it the appropriate scientific idea. When he has grasped this idea, the experiment which illustrates it has served its purpose.

In an experiment of research, on the other hand, this is not the principal aim. It is true that an experiment, in which the principal aim is to see what happens under certain conditions, may be regarded as an experiment of research by those who are not yet familiar with the result, but in experimental researches, strictly so called, the ultimate object is to measure something which we have already seen—to obtain a numerical estimate of some magnitude.

Experiments of this class—those in which measurement of some kind is involved, are the proper work of a Physical Laboratory. In every experiment we have first to make our senses familiar with the phenomenon, but we must not stop here, we must find out which of its features are capable of measurement, and what measurements are required in order to make a complete specification of the phenomenon. We must then make these measurements, and deduce from them the result which we require to find.

This characteristic of modern experiments—that they consist principally of measurements,—is so prominent, that the opinion seems to have got abroad, that in a few years all the great physical constants will have been approximately

estimated, and that the only occupation which will then be left to men of science will be to carry on these measurements to another place of decimals.

If this is really the state of things to which we are approaching, our Laboratory may perhaps become celebrated as a place of conscientious labour and consummate skill, but it will be out of place in the University, and ought rather to be classed with the other great workshops of our country, where equal ability is directed to more useful ends.

But we have no right to think thus of the unsearchable riches of creation, or of the untried fertility of those fresh minds into which these riches will continue to be poured. It may possibly be true that, in some of those fields of discovery which He open to such rough observations as can be made without artificial methods, the great explorers of former times have appropriated most of what is valuable, and that the gleanings which remain are sought after, rather for their abstruseness, than for their intrinsic worth. But the history of science shews that even during that phase of her progress in which she devotes herself to improving the accuracy of the numerical measurement of quantities with which she has long been familiar, she is preparing the materials for the subjugation of new regions, which would have remained unknown if she had been contented with the rough methods of her early pioneers. I might bring forward instances gathered from every branch of science, shewing how the labour of careful measurement has been rewarded by the discovery of new fields of research, and by the development of new scientific ideas.

But the history of the science of terrestrial magnetism affords us a sufficient example of what may be done by Experiments in Concert, such as we hope someday to perform in our Laboratory.

That celebrated traveller, Humboldt, was profoundly impressed with the scientific value of a combined effort to be made by the observers of all nations, to obtain accurate measurements of the magnetism of the earth; and we owe it mainly to his enthusiasm for science, his great reputation and his wide- spread influence, that not only private men of science, but the governments of most of the civilised nations, our own among the number, were induced to take part in the enterprise. But the actual working out of the scheme, and the arrangements by which the labours of the observers were so directed as to obtain the best results, we owe to the great mathematician Gauss, working along with Weber, the future founder of the science of electro-magnetic measurement, in the magnetic observatory of Gottingen, and aided by the skill of the instrument-maker Leyser. These men, however, did not work alone. Numbers of scientific men joined the Magnetic Union, learned the use of the new instruments and the new methods of reducing the observations; and in every city of Europe you might see them, at certain stated times, sitting, each in his cold wooden shed, with his eye fixed at the telescope, his ear attentive to the clock, and his pencil recording in his notebook the instantaneous position of the suspended magnet.

Bacon's conception of "Experiments in concert " was thus realised, the scattered forces of science were converted into a

regular army, and emulation and jealousy became out of place, for the results obtained by any one observer were of no value till they were combined with those of the others.

The increase in the accuracy and completeness of magnetic observations which was obtained by the new method, opened up fields of research which were hardly suspected to exist by those whose observations of the magnetic needle had been conducted in a more primitive manner. We must reserve for its proper place in our course any detailed description of the disturbances to which the magnetism of our planet is found to be subject. Some of these disturbances are periodic, following the regular courses of the sun and moon. Others are sudden, and are called magnetic storms, but, like the storms of the atmosphere, they have their known seasons of frequency. The last and the most mysterious of these magnetic changes is that secular variation by which the whole character of the earth, as a great magnet, is being slowly modified, while the magnetic poles creep on, from century to century, along their winding track in the Polar Regions.

We have thus learned that the interior of the earth is subject to the influences of the heavenly bodies, but that besides this there is a constantly progressive change going on, the cause of which is entirely unknown. In each of the magnetic observatories throughout the world an arrangement is at work, by means of which a suspended magnet directs a ray of light on a prepared sheet of paper moved by clockwork. On that paper the never-resting heart of the earth is now tracing, in

telegraphic symbols which will one day be interpreted, a record of its pulsations and its fluttering's, as well as of that slow but mighty working which warns us that we must not suppose that the inner history of our planet is ended.

But this great experimental research on Terrestrial Magnetism produced lasting effects on the progress of science in general. I need only mention one or two instances. The new methods of measuring forces were successfully applied by Weber to the numerical determination of all the phenomena of electricity, and very soon afterwards the electric telegraph, by conferring a commercial value on exact numerical measurements, contributed largely to the advancement, as well as to the diffusion of scientific knowledge.

But it is not in these more modern branches of science alone that this influence is felt. It is to Gauss, to the Magnetic Union, and to magnetic observers in general, that we owe our deliverance from that absurd method of estimating forces by a variable standard which prevailed so long even among men of science. It was Gauss who first based the practical measurement of magnetic force (and therefore of every other force) on those long established principles, which, though they are embodied in every dynamical equation, have been so generally set aside, that these very equations, though correctly given in our Cambridge textbooks, are usually explained there by assuming, in addition to the variable standard of force, a variable, and therefore illegal, standard of mass.

Such, then, were some of the scientific results which followed in this case from

bringing together mathematical power, experimental sagacity, and manipulative skill, to direct and assist the labours of a body of zealous observers. If therefore we desire, for our own advantage and for the honour of our University, that the Devonshire Laboratory should be successful, we must endeavour to maintain it in living union with the other organs and faculties of our learned body. We shall therefore first consider the relation in which we stand to those mathematical studies which have so long flourished among us, which deal with our own subjects, and which differ from our experimental studies only in the mode in which they are presented to the mind.

There is no more powerful method for introducing knowledge into the mind than that of presenting it in as many different ways as we can. When the ideas, after entering through different gateways, effect a junction in the citadel of the mind, the position they occupy becomes impregnable. Opticians tell us that the mental combination of the views of an object which we obtain from stations no further apart than our two eyes is sufficient to produce in our minds an impression of the solidity of the object seen; and we find that this impression is produced even when we are aware that we are really looking at two flat pictures placed in a stereoscope. It is therefore natural to expect that the knowledge of physical science obtained by the combined use of mathematical analysis and experimental research will be of a more solid, available, and enduring kind than that possessed by the mere mathematician or the mere experimenter.

But what will be the effect on the University, if men pursuing that course of reading which has produced so many distinguished Wranglers, turn aside to work experiments? Will not their attendance at the Laboratory count not merely as time withdrawn from their more legitimate studies, but as the introduction of a disturbing element, tainting their mathematical conceptions with material imagery, and sapping their faith in the formulae of the textbooks? Besides this, we have already heard complaints of the undue extension of our studies, and of the strain put upon our questionists by the weight of learning which they try to carry with them into the Senate-House. If we now ask them to get up their subjects not only by books and writing, but at the same time by observation and manipulation, will they not break down altogether? The Physical Laboratory, we are told, may perhaps be useful to those who are going out in Natural Science, and who do not take in Mathematics, but to attempt to combine both kinds of study during the time of residence at the University is more than one mind can bear.

No doubt there is some reason for this feeling. Many of us have already overcome the initial difficulties of mathematical training. When we now go on with our study, we feel that it requires exertion and involves fatigue, but we are confident that if we only work hard our progress will be certain.

Some of us, on the other hand, may have had some experience of the routine of experimental work. As soon as we can read scales, observe times, focus telescopes, and so on, this kind of work

ceases to require any great mental effort. We may perhaps tire our eyes and weary our backs, but we do not greatly fatigue our minds.

It is not till we attempt to bring the theoretical part of our training into contact with the practical that we begin to experience the full effect of what Faraday has called "mental inertia"—not only the difficulty of recognising, among the concrete objects before us, the abstract relation which we have learned from books, but the distracting pain of wrenching the mind away from the symbols to the objects, and from the objects back to the symbols. This however is the price we have to pay for new ideas.

But when we have overcome these difficulties, and successfully bridged over the gap between the abstract and the concrete, it is not a mere piece of knowledge that we have obtained: we have acquired the rudiment of a permanent mental endowment. When, by a repetition of efforts of this kind, we have more fully developed the scientific faculty, the exercise of this faculty in detecting scientific principles in nature, and in directing practice by theory, is no longer irksome, but becomes an unending source of enjoyment, to which we return so often, that at last even our careless thoughts begin to run in a scientific channel.

I quite admit that our mental energy is limited in quantity, and I know that many zealous students try to do more than is good for them. But the question about the introduction of experimental study is not entirely one of quantity. It is to a great extent a question of distribution of energy. Some distributions of energy, we know,

are more useful than others, because they are more available for those purposes which we desire to accomplish.

Now in the case of study, a great part of our fatigue often arises, not from those mental efforts by which we obtain the mastery of the subject, but from those which are spent in recalling our wandering thoughts; and these efforts of attention would be much less fatiguing if the disturbing force of mental distraction could be removed.

This is the reason why a man whose soul is in his work always makes more progress than one whose aim is something not immediately connected with his occupation. In the latter case the very motive of which he makes use to stimulate his flagging powers becomes the means of distracting his mind from the work before him.

There may be some mathematicians who pursue their studies entirely for their own sake. Most men, however, think that the chief use of mathematics is found in the interpretation of nature. Now a man who studies a piece of mathematics in order to understand some natural phenomenon which he has seen, or to calculate the best arrangement of some experiment which he means to make, is likely to meet with far less distraction of mind than if his sole aim had been to sharpen his mind for the successful practice of the Law, or to obtain a high place in the Mathematical Tripos.

I have known men, who when they were at school, never could see the good of mathematics, but who, when in after life they made this discovery, not only became eminent as scientific engineers, but made considerable progress in the study of

abstract mathematics. If our experimental course should help any of you to see the good of mathematics, it will relieve us of much anxiety, for it will not only ensure the success of your future studies, but it will make it much less likely that they will prove injurious to your health.

But why should we labour to prove the advantage of practical science to the University. Let us rather speak of the help which the University may give to science, when men well trained in mathematics and enjoying the advantages of a well-appointed Laboratory, shall unite their efforts to carry out some experimental research which no solitary worker could attempt.

At first it is probable that our principal experimental work must be the illustration of particular branches of science, but as we go on we must add to this the study of scientific methods, the same method being sometimes illustrated by its application to researches belonging to different branches of science.

We might even imagine a course of experimental study the arrangement of which should be founded on a classification of methods, and not on that of the objects of investigation. A combination of the two plans seems to me better than either, and while we take every opportunity of studying methods, we shall take care not to dissociate the method from the scientific research to which it is applied, and to which it owes its value.

We shall therefore arrange our lectures according to the classification of the principal natural phenomena, such as heat, electricity, magnetism and so on.

In the laboratory, on the other hand, the place of the different instruments will be determined by a classification according to methods, such as weighing and measuring, observations of time, optical and electrical methods of observation, and so on.

The determination of the experiments to be performed at a particular time must often depend upon the means we have at command, and in the case of the more elaborate experiments, this may imply a long time of preparation, during which the instruments, the methods, and the observers themselves, are being gradually fitted for their work. When we have thus brought together the requisites, both material and intellectual, for a particular experiment, it may sometimes be desirable that before the instruments are dismantled and the observers dispersed, we should make some other experiment, requiring the same method, but dealing perhaps with an entirely different class of physical phenomena.

Our principal work, however, in the Laboratory must be to acquaint ourselves with all kinds of scientific methods, to compare them, and to estimate their value. It will, I think, be a result worthy of our University, and more likely to be accomplished here than in any private laboratory, if, by the free and full discussion of the relative value of different scientific procedures, we succeed in forming a school of scientific criticism, and in assisting the development of the doctrine of method.

But admitting that a practical acquaintance with the methods of Physical Science is an essential part of a mathematical and scientific education, we may be asked

whether we are not attributing too much importance to science altogether as part of a liberal education.

Fortunately, there is no question here whether the University should continue to be a place of liberal education, or should devote itself to preparing young men for particular professions. Hence though some of us may, I hope, see reason to make the pursuit of science the main business of our lives, it must be one of our most constant aims to maintain a living connexion between our work and the other liberal studies of Cambridge, whether literary, philological, historical or philosophical.

There is a narrow professional spirit which may grow up among men of science, just as it does among men who practise any other special business. But surely a University is the very place where we should be able to overcome this tendency of men to become, as it were, granulated into small worlds, which are all the more worldly for their very smallness. We lose the advantage of having men of varied pursuits collected into one body, if we do not endeavour to imbibe some of the spirit even of those whose special branch of learning is different from our own.

It is not so long ago since any man who devoted himself to geometry, or to any science requiring continued application, was looked upon as necessarily a misanthrope, who must have abandoned all human interests, and be taken himself to abstractions so far removed from the world of life and action that he has become insensible alike to the attractions of pleasure and to the claims of duty.

In the present day, men of science are not looked upon with the same awe or with the

same suspicion. They are supposed to be in league with the material spirit of the age, and to form a kind of advanced Radical party among men of learning.

We are not here to defend literary and historical studies. We admit that the proper study of mankind is man. But is the student of science to be withdrawn from the study of man, or cut off from every noble feeling, so long as he lives in intellectual fellowship with men who have devoted their lives to the discovery of truth, and the results of whose enquiries have impressed themselves on the ordinary speech and way of thinking of men who never heard their names? Or is the student of history and of man to omit from his consideration the history of the origin and diffusion of those ideas which have produced so great a difference between one age of the world and another?

It is true that the history of science is very different from the science of history. We are not studying or attempting to study the working of those blind forces which, we are told, are operating on crowds of obscure people, shaking principalities and powers, and compelling reasonable men to bring events to pass in an order laid down by philosophers.

The men whose names are found in the history of science are not mere hypothetical constituents of a crowd, to be reasoned upon only in masses. We recognise them as men like ourselves, and their actions and thoughts, being more free from the influence of passion, and recorded more accurately than those of other men, are all the better materials for the study of the calmer parts of human nature.

But the history of science is not restricted to the enumeration of successful investigations. It has to tell of unsuccessful inquiries, and to explain why some of the ablest men have failed to find the key of knowledge, and how the reputation of others has only given a firmer footing to the errors into which they fell.

The history of the development, whether normal or abnormal, of ideas is of all subjects that in which we, as thinking men, take the deepest interest. But when the action of the mind passes out of the intellectual stage, in which truth and error are the alternatives, into the more violently emotional states of anger and passion, malice and envy, fury and madness; the student of science, though he is obliged to recognise the powerful influence which these wild forces have exercised on mankind, is perhaps in some measure disqualified from pursuing the study of this part of human nature.

But then how few of us are capable of deriving profit from such studies. We cannot enter into full sympathy with these lower phases of our nature without losing some of that antipathy to them which is our surest safeguard against a reversion to a meaner type, and we gladly return to the company of those illustrious men who by aspiring to noble ends, whether intellectual or practical, have risen above the region of storms into a clearer atmosphere, where there is no misrepresentation of opinion, nor ambiguity of expression, but where one mind comes into closest contact with another at the point where both approach nearest to the truth.

I propose to lecture during this term on Heat, and, as our facilities for

experimental work are not yet fully developed, I shall endeavour to place before you the relative position and scientific connexion of the different branches of the science, rather than to discuss the details of experimental methods.

We shall begin with Thermometry, or the registration of temperatures, and Calorimetry, or the measurement of quantities of heat. We shall then go on to Thermodynamics, which investigates the relations between the thermal properties of bodies and their other dynamical properties, in so far as these relations may be traced without any assumption as to the particular constitution of these bodies.

The principles of Thermodynamics throw great light on all the phenomena of nature, and it is probable that many valuable applications of these principles have yet to be made; but we shall have to point out the limits of this science, and to shew that many problems in nature, especially those in which the Dissipation of Energy comes into play, are not capable of solution by the principles of Thermodynamics alone, but that in order to understand them, we are obliged to form some more definite theory of the constitution of bodies.

Two theories of the constitution of bodies have struggled for victory with various fortunes since the earliest ages of speculation: one is the theory of a universal plenum, the other is that of atoms and void.

The theory of the plenum is associated with the doctrine of mathematical continuity, and its mathematical methods are those of the Differential Calculus,

which is the appropriate expression of the relations of continuous quantity.

The theory of atoms and void leads us to attach more importance to the doctrines of integral numbers and definite proportions; but, in applying dynamical principles to the motion of immense numbers of atoms, the limitation of our faculties forces us to abandon the attempt to express the exact history of each atom, and to be content with estimating the average condition of a group of atoms large enough to be visible. This method of dealing with groups of atoms, which I may call the statistical method, and which in the present state of our knowledge is the only available method of studying the properties of real bodies, involves an abandonment of strict dynamical principles, and an adoption of the mathematical methods belonging to the theory of probability. It is probable that important results will be obtained by the application of this method, which is as yet little known and is not familiar to our minds. If the actual history of Science had been different, and if the scientific doctrines most familiar to us had been those which must be expressed in this way, it is possible that we might have considered the existence of a certain kind of contingency a self-evident truth, and treated the doctrine of philosophical necessity as a mere sophism.

About the beginning of this century, the properties of bodies were investigated by several distinguished French mathematicians on the hypothesis that they are systems of molecules in equilibrium. The somewhat unsatisfactory nature of the results of these investigations produced, especially in this country, a reaction in

favour of the opposite method of treating bodies as if they were, so far at least as our experiments are concerned, truly continuous. This method, in the hands of Green, Stokes, and others, has led to results, the value of which does not at all depend on what theory we adopt as to the ultimate constitution of bodies.

One very important result of the investigation of the properties of bodies on the hypothesis that they are truly continuous is that it furnishes us with a test by which we can ascertain, by experiments on a real body, to what degree of tenuity it must be reduced before it begins to give evidence that its properties are no longer the same as those of the body in mass. Investigations of this kind, combined with a study of various phenomena of diffusion and of dissipation of energy, have recently added greatly to the evidence in favour of the hypothesis that bodies are systems of molecules in motion.

I hope to be able to lay before you in the course of the term some of the evidence for the existence of molecules, considered as individual bodies having definite properties. The molecule, as it is presented to the scientific imagination, is a very different body of any of those with which experience has hitherto made us acquainted.

In the first place its mass, and the other constants which define its properties, are absolutely invariable; the individual molecule can neither grow nor decay, but remains unchanged amid all the changes of the bodies of which it may form a constituent.

In the second place it is not the only molecule of its kind, for there are

innumerable other molecules, whose constants are not approximately, but absolutely identical with those of the first molecule, and this whether they are found on the earth, in the sun, or in the fixed stars.

By what process of evolution the philosophers of the future will attempt to account for this identity in the properties of such a multitude of bodies, each of them unchangeable in magnitude, and some of them separated from others by distances which Astronomy attempts in vain to measure, I cannot conjecture. My mind is limited in its power of speculation, and I am forced to believe that these molecules must have been made as they are from the beginning of their existence.

I also conclude that since none of the processes of nature, during their varied action on different individual molecules, have produced, in the course of ages, the slightest difference between the properties of one molecule and those of another, the history of whose combinations has been different, we cannot ascribe either their existence or the identity of their properties to the operation of any of those causes which we call natural.

Is it true then that our scientific speculations have really penetrated beneath the visible appearance of things, which seem to be subject to generation and corruption, and reached the entrance of that world of order and perfection, which continues this day as it was created, perfect in number and measure and weight?

We may be mistaken. No one has as yet seen or handled an individual molecule, and our molecular hypothesis may, in its turn, be supplanted by some new theory of

the constitution of matter; but the idea of the existence of unnumbered individual things, all alike and all unchangeable, is one which cannot enter the human mind and remain without fruit.

But what if these molecules, indestructible as they are, turn out to be not substances themselves, but mere affections of some other substance?

According to Sir W. Thomson's theory of Vortex Atoms, the substance of which the molecule consists is a uniformly dense plenum, the properties of which are those of a perfect fluid, the molecule itself being nothing but a certain motion impressed on a portion of this fluid, and this motion is shewn, by a theorem due to Helmholtz, to be as indestructible as we believe a portion of matter to be.

If a theory of this kind is true, or even if it is conceivable, our idea of matter may have been introduced into our minds through our experience of those systems of vortices which we call bodies, but which are not substances, but motions of a substance; and yet the idea which we have thus acquired of matter, as a substance possessing inertia, may be truly applicable to that fluid of which the vortices are the motion, but of whose existence, apart from the vortical motion of some of its parts, our experience gives us no evidence whatever. It has been asserted that metaphysical speculation is a thing of the past, and that physical science has extirpated it. The discussion of the categories of existence, however, does not appear to be in danger of coming to an end in our time, and the exercise of speculation continues as fascinating to every fresh mind as it was in the days of Thales.

