

EL CONCEPTO DE FORMACIÓN (BILDUNG) EN LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

La relación entre la didáctica teórico-formativa de
Wolfgang Klafki y los estudios metacientíficos

HELBERT E. VELILLA JIMÉNEZ



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Facultad de Educación

**El concepto de formación (Bildung) en la didáctica
de las ciencias.**

**La relación entre la didáctica teórico-formativa de
Wolfgang Klafki y los estudios metacientíficos**

Helbert E. Velilla Jiménez

**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Universidad de Antioquia
Facultad de Educación**

Medellín

2018

El concepto de formación (Bildung) en la didáctica de las ciencias.

La relación entre la didáctica teórico-formativa de Wolfgang Klafki y los estudios metacientíficos

Helbert E. Velilla Jiménez

**Trabajo de investigación para optar al grado de
Magíster en Educación en Ciencias Naturales**

Línea de énfasis: historia de la ciencia, filosofía de la ciencia y enseñanza de las ciencias

Directores:

Dr. Phil. Ángel E. Romero Chacón

Dr. Phil. Andrés Klaus Runge Peña

Universidad de Antioquia

Facultad de Educación

Departamento de Educación Avanzada

Medellín

2018

Contenido

Agradecimientos	VII
Introducción	IX
Sobre la metodología.....	XIV
1. Los estudios metacientíficos y la didáctica de las ciencias	18
El surgimiento de la Naturaleza de las Ciencias (NdC) en la didáctica de las ciencias	18
El uso de la filosofía de la ciencia clásica en la didáctica de las ciencias: aportes y problemas.....	23
El enfoque socio-histórico de la Naturaleza de las Ciencias: una caracterización a partir del debate internismo-externismo.....	27
Caracterización del esquema: la teoría sobre la racionalidad de Lakatos y Kuhn	28
La inviabilidad del enfoque ‘externista’ en la investigación didáctica y la enseñanza de las ciencias	30
La pregunta: ¿qué es la ciencia? en la formación de profesores de ciencias.....	33
Los aportes del Programa Fuerte de la sociología del conocimiento científico para la formación de profesores	35
Estudio de caso: aportes para la didáctica y la enseñanza de las ciencias ilustrados en el estudio de la noción de movimiento galileano	41
Matemáticas y filosofía natural: antecedentes.....	42
Matemáticas, experiencia y filosofía natural: Galileo Galilei	47
Prácticas y objetos	57
Perspectivas: la relación entre las matemáticas y la filosofía natural.....	74
2. El rol de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias: modelos y propuestas didácticas	77
Didáctica de las ciencias: el problema.....	78
Transposición didáctica, triángulo didáctico y teoría de las situaciones didácticas	80
Contenidos, estudios metacientíficos y didáctica de las ciencias	83
El movimiento galileano en perspectiva didáctica	93
El péndulo galileano como contenido metacientífico.....	93
Contenidos disciplinares y contenidos formativos: el caso del movimiento galileano	104

3. La didáctica teórico-formativa de Wolfgang Klafki. Esbozo para la incorporación del concepto de formación (Bildung) en la didáctica de las ciencias	113
El concepto de formación (Bildung) para la didáctica teórico-formativa	115
Las teorías de la formación en la didáctica.....	119
Teorías de la formación material	119
Teorías de la formación formal	120
El concepto de formación categorial de Wolfgang Klafki	122
Los tres principios para el análisis didáctico: lo elemental, lo fundamental y lo ejemplar	126
<i>Elementaria</i>	127
El análisis didáctico según el enfoque teórico-formativo.....	132
4. Hacia una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung). Los estudios metacientíficos y la didáctica teórico-formativa	144
La tarea del didacta y el educador: buscar en los contenidos (Inhalt) contenido formativo (Bildungsgehalt)	145
Consecuencias antropológicas de las decisiones metódicas en la didáctica de las ciencias: formación (Bildung) y formabilidad (Bildsamkeit).....	149
El uso de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias: análisis desde la didáctica teórico-formativa.....	154
Los estudios metacientíficos respondiendo a cuestionamientos formativos	158
¿Cuál es el sentido formativo que tiene el uso de los estudios metacientíficos en la enseñanza de las ciencias? Problematicación del ideal de ser humano que se quiere formar mediante la educación en ciencias.....	164
Esquema de una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung). Conceptos para la formación de maestros y las investigaciones didácticas	168
5. Conclusión.....	171
Referencias.....	176

Lista de figuras

Figura 1: Externismo-Internismo.....	28
Figura 2: Pesos de una balanza.....	52
Figura 3: Acercamiento o distanciamiento al centro de la tierra en el plano inclinado.....	53
Figura 4: Diagrama de la carta de Galileo a Sarpi.....	59
Figura 5: Folio 128r.....	61
Figura 6: Folio 152r.....	65
Figura 7: Folio 107v.....	68

Figura 8: Le triangle didactique/el triángulo didáctico.....	80
Figura 9: Dimensiones de nuestro marco de análisis de las propuestas de enseñanza de la filosofía de la ciencia.....	86
Figura 10: Contrato didáctico.....	91
Figura 11: Representación galileana de un péndulo.....	95
Figura 12: Representación del movimiento pendular en superficie cóncava.....	96
Figura 13: Representación galileana del plano inclinado mediante cuerdas.....	97
Figura 14: Representación galileana de la ley de isocronía.....	102
Figura 15: (Vorläufiges) Perspektivenschema zur Unterrichtsplanung.....	134
Figura 16: Niveles de análisis para la relación entre la didáctica teórico-formativa con los estudios metacientíficos.....	159
Figura 17: Hacia una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung).....	170

Lista de tablas

Tabla 1: Propuesta de incorporación de la filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias.....	105
Tabla 2: Relación entre la didáctica teórico-formativa y los estudios metacientíficos.....	159

Agradecimientos

La construcción de esta investigación no hubiese sido posible sin la ayuda de muchas personas e instituciones, quienes de diversas formas han contribuido a este resultado final, por supuesto, parcialmente porque no quiero descargar en ellos los errores que este texto pueda contener.

Debo señalar que usualmente la imagen de la ciencia es presentada como una actividad sin errores, obstáculos ni transformaciones y realizada por sujetos epistémicos ideales aislados de los contextos y sus contingencias en la que ésta se practica. Esto tiene, en consecuencia, una falsa imagen de la ciencia como si de investigaciones y resultados puros y exitosos se tratara. En este sentido, quiero hacer mención de las controversias suscitadas con el profesor Ángel, las cuales fueron cruciales en el diseño y desarrollo de esta investigación. Algunos de los comentarios críticos por parte del profesor Ángel se enfocaron en la necesidad de pensar en el maestro e implementaciones para el aula de clase. No obstante, la forma como yo he entendido la Pedagogía no se corresponde con ese propósito. Allí surgieron interesantes debates académicos desde diferentes corrientes de análisis, cada una con sus pasiones y emociones características de la forma como colectivamente se construye el conocimiento. Esas discusiones, y por eso le tengo que agradecer al profesor Ángel, constituyen una parte central de los resultados que presento en estas páginas y que en aquellos momentos y hoy defendiendo con tanta convicción: la construcción de una investigación teórica en la línea de la pedagogía alemana que permita problematizar conceptos, enfoques y corrientes que, por supuesto, tendrán ya sea a corto o largo plazo, su impacto en las praxis educativas. Adicionalmente, le agradezco por sus juiciosas orientaciones sobre los aspectos disciplinares del movimiento galileano y la relación entre matemáticas y física que allí se puede establecer.

La convicción del papel central de la Ciencia de la Educación para el análisis de los problemas sobre la formación (Bildung) y la formabilidad (Bildsamkeit) se la debo al profesor Andrés Klaus Runge, porque a través del estudio de sus producciones académicas y

sus rigurosas sugerencias, en medio de conversaciones sobre nuestras afinidades musicales, han motivado la construcción de una propuesta sustentada en un enfoque de análisis que comparado con otras tradiciones como la francófona y la anglosajona, es la más desconocida en nuestro contexto colombiano. No obstante, en nuestras discusiones surgía la idea de un trabajo orientado a la problematización de conceptos y teorías mediante el diálogo pedagógico con otras disciplinas, y no sólo de un trabajo que reconociera la importancia disciplinar de la Ciencia de la Educación, precisamente porque en la escuela en la que nos formamos, tal reconocimiento sería caer en lo obvio puesto que –y utilizando uno de sus simpáticos ejemplos– sería como “preguntarse sobre la importancia de la medicina para la formación de médicos”.

Les agradezco a los profesores Yirsén Aguilar y Gersson Lopera porque en los seminarios que compartimos sobre historia y filosofía de la ciencia a lo largo de estos dos años, me ofrecieron incontables comentarios y perspectivas de análisis, incluso desde la teoría de la relatividad, que fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Al profesor Sergio Orozco de University Of Edinburgh, con quien me he formado en los estudios de la ciencia, por sus rigurosos comentarios en algunas de las versiones del trabajo sobre Galileo. A los profesores Jorge Antonio Mejía, Diana Melisa Paredes y Juan Felipe Garcés con quienes, desde mi pregrado, he estudiado temas y problemas fundamentales en filosofía de la ciencia, didáctica y teorías de la formación. Al doctor Giulio Cesare Giacobbe de Università Degli Studi Di Genova por compartirme en formato físico sus excelentes artículos sobre la *Quaestio de Certitudine Mathematicarum*. Al doctor José Romo de la Universidad de Barcelona por sus sugerencias bibliográficas para el estudio de la ciencia del movimiento de Galileo. A Roger por escuchar todas mis ideas.

A Lizeth por su ayuda con las lecturas que tuve que hacer en alemán y por estar siempre dispuesta a conversar conmigo, desde diferentes perspectivas, sobre los temas del trabajo. Gracias por tu paciencia y amor.

Mi agradecimiento, además, para la Universidad de Antioquia de la cual recibí una beca para los estudios de maestría y para la presentación a nivel internacional de esta investigación.

A Marcela, Blanca y Eduardo, a ellos les debo mi formación.

El éxito de la ciencia ha creado su problema sucesor. Ese problema –el problema de la autoridad independiente de la ciencia en nuestro mundo moderno– puede ser un problema para la ciencia, pero, sobre todo, es un problema en nuestro orden moderno de cosas. El lugar de la ciencia en el mundo moderno es precisamente el problema de describir la forma cómo vivimos ahora: qué creer, en quién confiar, qué hacer.

Steven Shapin, *Nunca pura*

Si nos esforzamos en descubrir en el niño los principios vitales de la mayoría de edad, de su independencia, de su capacidad de crítica y productividad, como energías y aptitudes germinantes, después de haber intentado aclarar su realidad en el maduro comportamiento de los adultos, contando con todos los medios metódicos de las actuales ciencias del hombre, entonces se habrá conseguido una perspectiva de investigación dirigida a lo que es decisivo pedagógicamente. Esta perspectiva nos permite distinguir qué objetos, disciplinas, tareas y métodos son esenciales o no en la enseñanza y la formación.

1 Heinrich Roth, *El hombre y su facultad de aprender*

La incorporación de la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia¹ en la didáctica y la enseñanza de las ciencias tiene importantes consecuencias en la forma como se entiende o se debería entender el conocimiento científico. Sin embargo, las explicaciones que ofrece cada una de las anteriores disciplinas sobre la actividad científica, obedecen a diversos propósitos explicativos que difícilmente se pueden abordar en las mismas líneas conceptuales. Tal es el caso de la racionalidad de la ciencia, las prácticas y la normatividad epistémica. No obstante, cuando se incorporan los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias se omiten problemas conceptuales de este tipo y, en su lugar, se opta por la generalidad y se recurre a utilizarlos como recursos metodológicos que pueden resolver problemas sobre la enseñanza. De esta manera, el uso de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias comporta dos problemas. En primer lugar, no es claro cuál es el enfoque metacientífico más adecuado para la didáctica de las ciencias, y su incorporación, de una forma enciclopédica donde se opta por todas las escuelas y corrientes filosóficas, conceptualmente es inviable. En segundo lugar, los estudios metacientíficos no tienen como objeto de análisis la educación en ciencias, por lo tanto, disciplinarmente es insostenible tratar de resolver con ellos problemas sobre la formación (Bildung), la educación y la enseñanza.

En este trabajo de investigación voy a mostrar una perspectiva de análisis sobre el primer problema enfocado en el programa fuerte de la sociología del conocimiento, el cual contribuye a analizar la ciencia como una institución social compuesta por reglas, intereses, valores, metodologías, costumbres y, en general, por diversas prácticas que hacen de la actividad científica una empresa contingente, con errores, obstáculos y diferentes recursos para obtener el control sobre la credibilidad de sus afirmaciones. Pero sostendré con el fin de resolver el segundo punto, que aunque este enfoque es adecuado para el análisis de los contenidos científicos, no soluciona problemas sobre la educación (Erziehung) ni la formación (Bildung), y por ello, es necesario acudir a la pedagogía (Ciencia de la Educación) entendida como un campo profesional y disciplinar, para explicitar y analizar los problemas formativos que le subyacen a cualquier praxis educativa, en este caso, la educación en

¹ En adelante me referiré a estas tres disciplinas como estudios metacientíficos.

ciencias. En particular, optaré por la corriente teórico-formativa de la didáctica propuesta por Wolfgang Klafki, la cual me permitirá analizar, orientado por el concepto de formación (Bildung), las implicaciones formativas que se derivan del uso de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias. Las preguntas que orientarán esta investigación son: ¿Cuál es el sentido formativo que tiene el uso de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias? ¿Qué relaciones se pueden establecer en la didáctica de las ciencias, entre el uso de los estudios metacientíficos y la didáctica teórico-formativa de Klafki? ¿Cuál es el papel que juega lo *formativo de los contenidos* en las propuestas de los didactas de las ciencias?

El lector encontrará en este trabajo un ejercicio de *pedagogía general* en tanto parto de una problemática propia de la pedagogía como es la formación (Bildung) y la formabilidad (Bildsamkeit), que pueden ser concretadas en la *pedagogía escolar* –didáctica, metódica, medios, formación de maestros, etc.– y en la relación con otras áreas académicas como la filosofía, la historia y la sociología. En este sentido, mi investigación se ubica en la pedagogía (Pädagogik) o ciencia de la educación (Erziehungswissenschaft) de tradición alemana. Aquí se entiende la pedagogía general como el análisis de los conceptos, fundamentos y problemas básicos de la pedagogía, de modo que al analizar lo general se ofrecen los elementos conceptuales para ser problematizados en la educación, la enseñanza, el aprendizaje, la didáctica, el maestro, el alumno, el currículo, la metódica, fundamentos históricos, socioculturales, filosóficos, antropológicos, la historia de la educación, de la enseñanza y de la pedagogía, las corrientes, enfoques y tradiciones pedagógicas así como las formas de investigación en pedagogía (Runge, 2008). Al igual que los análisis de los estudios metacientíficos, los cuales pueden orientar y problematizar la práctica científica, los análisis de la pedagogía pueden ser caracterizados como meta-análisis que contribuyen, problematizan y orientan la praxis educativa.

Así las cosas, esta investigación se encuentra delimitada por dos enfoques de análisis: el programa fuerte de la sociología del conocimiento científico y la didáctica teórico-formativa de Wolfgang Klafki, los cuales configuran el objetivo general y los objetivos específicos:

General:

-Analizar las posibles relaciones de la didáctica teórico-formativa de Wolfgang Klafki con los estudios sociales de la ciencia con el fin de ofrecer elementos conceptuales que contribuyan a la formación de maestros y a problematizar las investigaciones en didáctica de las ciencias.

Específicos:

-Caracterizar los planteamientos didácticos fundamentados en los estudios meta-científicos y sus implicaciones en la enseñanza de las ciencias a través del análisis de la noción de movimiento galileano.

-Interpretar el papel que juega en estos planteamientos didácticos la pregunta por lo formativo de los contenidos con base en la didáctica teórico-formativa de Wolfgang Klafki.

-Proponer un enfoque de análisis para la didáctica de las ciencias y la formación de maestros con base en el concepto de formación (Bildung).

Este trabajo de investigación se divide en 4 capítulos en los que presento de forma sistemática la construcción de mi propuesta de una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung). En el primer capítulo me ocuparé de mostrar la inviabilidad del proyecto de incorporación de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias según la distinción *contexto de descubrimiento* y *contexto de justificación*. Mostraré que aceptar el *contexto de descubrimiento* sólo confirma los argumentos de los estudios sobre la validez del conocimiento que se enfocan en el análisis semántico de las teorías científicas y que comportan una mirada internalista para la comprensión del conocimiento científico, excluyendo, en consecuencia, los aspectos sociales, culturales e históricos. Por el contrario, mi argumento se enmarcará en los estudios sobre la credibilidad del conocimiento, donde la distinción “factores” internos y externos es errada porque “el componente social del conocimiento está siempre presente y siempre es constitutivo del conocimiento” (Bloor, 1991, p. 166). En esta línea argumentativa, defenderé que el programa fuerte en tanto apunta a los análisis empíricos (estudios de caso), constituye una adecuada explicación para

comprender el conocimiento científico y, en consecuencia, uno de los enfoques disponibles más apropiados para las investigaciones en didáctica de las ciencias con perspectiva histórico-sociológica. Para sostener esta tesis, efectivamente analizaré el movimiento galileano, que además es uno de los temas usuales en la enseñanza de la física, como un estudio de caso que permite comprender las formas de institucionalización de las prácticas y los recursos que utiliza Galileo para obtener la credibilidad.

En el segundo capítulo analizaré algunos modelos didácticos que han surgido en el contexto francés, como el de Chevallard y Brousseau, los cuales han tenido gran influencia en las investigaciones didácticas que incorporan los estudios metacientíficos. En particular, mostraré que aunque el propósito es utilizar los estudios metacientíficos para enseñar no solo ciencias sino también *sobre* las ciencias, sus preguntas se enfocan sólo en *qué* contenidos son más importantes para ser enseñados, excluyendo así los criterios pedagógicos para su selección y análisis dado que con la utilización de los estudios metacientíficos pretenden resolver problemas de la educación en ciencias. Argumentaré que fundamentar la didáctica de las ciencias en disciplinas como la filosofía y la historia de la ciencia y atribuirle una supuesta autonomía disciplinar, implica renunciar a problemas pedagógicos presentes en cualquier praxis educativa y por los que debe responder el didacta y el maestro. De esta manera, expondré que la didáctica entendida como un subcampo de la pedagogía no se reduce a problemas metódicos sobre la enseñanza, sino que ella involucra análisis sobre sus diversos enfoques, conceptos, teorías, modelos didácticos, investigaciones sobre aspectos específicos de la enseñanza como los contenidos, etc. En consecuencia, se refiere a aspectos prácticos y teóricos. Por ello, aunque la didáctica de las ciencias se sitúa en un nivel específico debe responder a cuestionamientos formativos.

El tercer capítulo se limitará a explicar los conceptos centrales de la didáctica teórico-formativa de Klafki, los cuales serán clave para entender la propuesta de una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung). Este análisis se corresponde con la dimensión meta-analítica de la didáctica en tanto analizo la corriente teórico-formativa con el fin de evaluar su capacidad para resolver los problemas que se propone. Mostraré que la tarea de la didáctica no se reduce al *qué*, sino que mantiene una apertura a temas potencialmente emancipatorios, por lo que siempre cuestiona pedagógicamente los contenidos para explotar

en ellos su contenido formativo (Bildungsgehalt). El didacta o el maestro se apropian de un contenido y deben reconocer en él lo significativo con el fin de contribuir a la formación (Bildung) de los estudiantes. Se trata de analizar pedagógicamente los contenidos según los propósitos formativos que se hacen explícitos con preguntas orientadas a su significado ejemplar, su importancia para el presente y el futuro, la estructura del contenido y su asequibilidad. Este análisis, fundamentado en el concepto de formación (Bildung), implicará problematizar la idea de ser humano que se quiere formar con los contenidos científicos. De este modo, los conceptos centrales para el análisis de este enfoque serán:² “formación” (Bildung), “formación categorial” (Kategorialen Bildung), “contenido formativo” (Bildungsgehalt), “lo elemental” (Das Elementare), “lo fundamental” (Das Fundamentale) y “lo ejemplar” (Das Exemplarische), “elementaria” (Elementaren) y “metódica” (Methodik).

El cuarto capítulo expone, según el recorrido de los capítulos I, II y III, la relación de los estudios sociales de la ciencia con la didáctica teórico-formativa, articulada en lo que he denominado una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung). Aquí argumentaré que la incorporación del concepto de formación (Bildung) implica que el didacta y el maestro de ciencias analicen las consecuencias antropológicas y socioculturales que se derivan de sus decisiones metódicas. Explicaré por qué al trabajar con el concepto de formación (Bildung) se deben considerar asuntos antropológico-pedagógicos sobre la formabilidad (Bildsamkeit), y señalaré el papel crítico y problematizador que debe asumir el didacta o el maestro en relación con los ideales formativos o los ideales de ser humano que se derivan de la educación en ciencias. En este sentido, se trata de mostrar que el estudio sociológico contribuye al análisis conceptual de los contenidos, pero este análisis se debe poner en un contexto formativo orientado por las preguntas didácticas. De esta manera, el programa fuerte podrá ayudar a analizar los supuestos ideológico/políticos constitutivos de la actividad científica para ser analizados pedagógicamente en términos de objetivos formativos, los cuales se corresponden con una idea de ser humano orientada hacia la emancipación, la auto y codeterminación, la crítica y la capacidad transformadora/creativa de su contexto científico en particular y de su vida en general.

² Esta es una distinción analítica necesaria para la reconstrucción y evaluación del enfoque teórico-formativo de Klafki. Sin embargo, se trata de conceptos íntimamente relacionados que tienen su momento práctico en el análisis didáctico (Didaktische Analyse).

Sobre la metodología

La investigación de este trabajo es de corte documental y se enmarca en el paradigma cualitativo-interpretativo, el cual implica un nivel descriptivo y de interpretación hermenéutica (Denzin & Lincoln, 2005). Se entiende por hermenéutica en esta investigación, el ejercicio de comprensión de todas las relaciones que establece el ser humano con el mundo, no se reduce a una interpretación operativa y sistemática de textos, sino a entender que la relación del ser humano con el mundo es una relación hermenéutica (Heidegger, 1971). Como lo plantea Dilthey (2000), toda manifestación humana debe ser comprendida y la vía para esa comprensión-interpretación, es la hermenéutica.

Las técnicas e instrumentos para recoger la información fueron las reseñas y fichajes de los documentos más representativos de los autores donde se tuvieron los presupuestos más importantes para su respectivo análisis, comprensión e interpretación. El fichaje consistió en la obtención de información consecuente con la hipótesis del trabajo y el esquema de investigación: ideas, opiniones, sucesos obtenidos de las fuentes consultadas y los juicios del investigador (González, 1995). Se tuvo como referente el siguiente ejemplo tomado de González (1995), lo cual no impidió que en otros casos se propusiera otro tipo de fichaje según la particularidad del texto analizado, como en las cartas y folios.

Ejemplo:

Bibliografía – registro de fuentes³

Nombre, Apellido	Tipo de documento
(Año). <u>Título del documento</u> . <i>Nombre de la revista</i> , x(y), x-xx.	
Noticia bibliográfica	

³ Adaptado al manual de citación APA sexta edición

Klafki, Wolfgang

Artículo de revista científica

Trad. De Mesa, A & Pantoja, A

(1991). Sobre la relación entre didáctica y metódica. *Educación y Pedagogía*, 85-108.

Se ocupa de la relación entre didáctica y metódica de la enseñanza porque es un problema no esclarecido a pesar de que siempre ha sido tratado en la intensa discusión que sobre didáctica o

Ficha de trabajo⁴

Concepto
-definición-

Citas textuales, ideas, opiniones y sucesos obtenidos de las fuentes consultadas, o bien, los juicios del investigador que derivan de esa consulta.

Nombre y apellido
Título del documento
Número de página

Didáctica
-definición-

"es el complejo total de las decisiones, presuposiciones, fundamentaciones y procesos de la decisión sobre todo los aspectos de la enseñanza. El concepto abarca entonces la metódica como una disciplina parcial, en el sentido de los esfuerzos hacia la teorización e investigación sobre las formas de organización y realización de la enseñanza y aprendizaje"

Wolfgang Klafki
Sobre la relación entre didáctica y metódica
p. 86

El análisis consistió en la división de cada una de las partes investigadas. Se hizo bajo el lente de una red de categorías conceptuales que permitió a su vez la construcción de nuevas

⁴ La información que se registra puede ser textual, en cuyo caso se pone entre comillas; o puede ser una síntesis que elabore el investigador (González, 1995).

categorías. Algunas de ellas fueron: “formación categorial”, “formación”, “formabilidad” “contenido formativo”, “prácticas científicas”, “matematización”, “reglas” y “credibilidad”.

En este caso se analizaron los textos del pedagogo alemán Wolfgang Klafki en su idioma original y algunas traducciones al castellano y al inglés. Asimismo, se analizaron algunos de los textos de la línea del programa fuerte de la sociología del conocimiento científico desarrollada en la Escuela de Edimburgo. El estudio de caso fue abordado mediante fuentes primarias: manuscritos, correspondencias y publicaciones oficiales en latín, italiano y algunas traducciones al castellano e inglés, las cuales se encuentran disponibles en la biblioteca digital de la Biblioteca Nacional de Francia, Biblioteca Nacional Central y el Instituto y Museo de historia de la ciencia de Florencia, Italia. Este trabajo no tuvo como objeto de estudio la noción de movimiento galileano, sin embargo, sirvió como una idea reguladora en toda la investigación porque permitió explicar, desde los estudios metacientíficos, que los contenidos que se enseñan no se reducen a reglas formalmente expresables, sino, que se deben tener en cuenta también los contextos sociales y locales de producción de conocimiento. La bibliografía secundaria se encuentra en los idiomas utilizados en esta investigación y sirvió para apoyar, criticar y debatir las afirmaciones presentadas en este trabajo. Los criterios de selección de los textos estuvieron orientados por su relevancia para el tema, la rigurosidad de los análisis y el impacto actual que han tenido en las discusiones académicas especializadas.

El análisis de la anterior información constituyó todo el texto, el cual se encuentra estructurado así: introducción –cuerpo– final. El cuerpo o parte central del trabajo fue el resultado de ampliar, sintetizar y relacionar la información de las fichas. Consistió en la redacción continua y coherente de todas las fichas de trabajo organizadas según el esquema definitivo. La parte final está formada por las conclusiones y bibliografía (González, 1995).

Posición ética del investigador frente al manejo de la información producida, recogida y/o analizada

En este trabajo de investigación se respetan las tesis, planteamientos y puntos de vista de otros autores e instituciones, a través de la debida citación de sus producciones académicas

en el formato APA sexta edición. Para el caso de los manuscritos y cartas se ha especificado explícitamente el lugar (bibliotecas, museos e institutos) en el que se encuentran. Los textos proporcionados por los mismos autores, ya sea de forma física o digital, cuentan también con su debido reconocimiento. Las citas extensas, folios y cartas en otros idiomas se encuentran traducidas al castellano con su respectivo respaldo del idioma original. Esto con el propósito de respetar la idea del autor y que cualquier responsabilidad sobre los errores en la traducción sea del investigador. Se han utilizado las bases de datos internacionales en convenio con la Universidad de Antioquia y las bases de datos públicas de la Freie Universität Berlin, Justus-Liebig-Universität Gießen y Philipps-Universität Marburg. También las colecciones de la biblioteca digital de la Bibliothèque nationale de France, Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze y el Istituto y Museo de Storia della Scienza di Firenze. En los agradecimientos se encuentra el reconocimiento a las personas que de diferentes formas han contribuido con el desarrollo de esta investigación.



1

Los estudios metacientíficos y la didáctica de las ciencias

El surgimiento de la Naturaleza de las Ciencias (NdC) en la didáctica de las ciencias

La relación entre los estudios metacientíficos y la didáctica de las ciencias no es nueva. Hacia 1989 surgen algunas conferencias que relacionan la historia y la filosofía de la ciencia con la didáctica de las ciencias, se publica además el Handbook internacional cuyas contribuciones más importantes provienen de campos como filosofía de la ciencia, filosofía de la educación, historia de la ciencia, educación, ciencias cognitivas, teorías del aprendizaje e historia de la educación. Además, planteamientos como los de Ernst Mach y John Dewey dan cuenta de las relaciones que se pueden establecer entre ambos campos.

Actualmente, las producciones académicas en estos campos tienen un espacio importante en la revista *Science & Education* que se publica anualmente desde 1992 y en otras revistas sobre educación científica, además de los libros publicados tanto en los años 30 como en los 70's. A saber, *Science Teaching* de Westaway (1929) donde se plantea que un buen profesor de ciencias debe conocer su materia y estudiar otras ramas de la ciencia, “es algo así como un filósofo” y maneja adecuadamente la historia para hablar con sus estudiantes sobre las vidas y trabajos de Galileo, Newton, Faraday y Darwin. Más recientes son los textos de Martin (1985) *Concepts of Science Education: A Philosophical Analysis*; Duschl (1990) *Restructuring Science Education: The Importance of Theories and Their Development*; Duschl y Hamilton (1992) *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*; Matthews (1994) *Science Teaching: The Role of History*

and Philosophy of Science; McComas (2006) *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*; Hodson (2008) *Towards Scientific Literacy: A Teachers' Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science*; Hodson (2009) *Teaching and Learning about Science: Language, Theories, Methods, History, Traditions and Values*; Taber (2009) *Progressing Science Education: Constructing the Scientific Research Programme into the Contingent Nature of Learning Science*; Matthews, Colin, y Arthur (2005) *The Pendulum: Scientific, Historical, Philosophical and Educational Perspectives*; Matthews (2009) *Science, Worldviews and Education*; Niaz (2011) *Innovating Science Teacher Education: A History and Philosophy of Science Perspective*; Taylor y Ferrari (2012) *Epistemology and Science Education: Understanding the Evolution vs. Intelligent Design Controversy*.

En general, estas publicaciones evidencian la necesidad de concebir la educación científica en un sentido amplio, no como mera instrucción sino con el objetivo de formar personas cuyo espíritu científico se manifieste en contextos típicamente no científicos (Martin, 1985). Para potenciar ese objetivo, surge la propuesta de introducir la historia y la filosofía de la ciencia en los planes de estudio de ciencias tanto de nivel básico y medio como en formación de maestros, mediante el estudio de problemas científicos en perspectiva histórica y filosófica, el análisis de propuestas constructivistas en la educación científica, preguntas como ¿qué es la ciencia? y tendencias como el realismo y el empirismo, sólo por mencionar unas pocas. Es así como en la didáctica de las ciencias se empiezan a configurar una serie de preguntas de origen filosófico, histórico y sociológico de especial importancia para la enseñanza, y que llaman la atención en tanto no son abordadas en los programas de estudio tanto de maestros en formación como de estudiantes de básica y media. Es por esto que Duschl (1990) sostiene que la enseñanza de las ciencias se concentra más en abundantes datos e información sobre la ciencia y menos en problemas acerca del crecimiento del conocimiento, el papel de la observación, los cambios de una teoría a otra, etc.

En particular, los aportes de los estudios metacientíficos contribuyen a resolver la habitual pregunta sobre ¿qué enseñar? Sin embargo, sostendré en los próximos capítulos que tanto para el campo curricular como el didáctico esto no es suficiente si no ha pasado por el

lente de la Pedagogía.⁵ Así las cosas, en primera instancia, la incorporación de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias se vuelve importante porque permite pensar la ciencia en sentido amplio, esto es, atendiendo a sus diversos problemas filosóficos, epistemológicos, sociales e históricos, lo cual, sin lugar a dudas, permitirá tanto a los didactas en su labor investigativa como a los maestros de ciencias en la planificación de sus cursos, tener un campo teórico enriquecido en el que podrán tomar decisiones más coherentes sobre los contenidos a enseñar en función de los propósitos de formación (Bildung).⁶

En efecto, uno de los puntos que dominan la actividad científica en general y, en consecuencia, la enseñanza de las ciencias en particular, es la concepción logicista del conocimiento. La comprobación del conocimiento y no cómo llegó a surgir, ha dominado la comprensión de la ciencia en los programas de estudio. Aquí el currículo⁷ como lo denomina Duschl (1990), se enfoca precisamente en el conocimiento científico. No obstante, con la incorporación de los estudios metacientíficos, la visión de currículo que se empieza a problematizar atiende al conocimiento sobre la ciencia. Por ejemplo, para Ferreirós y

⁵ En los siguientes capítulos me ocuparé con detalle de mostrar las relaciones entre los estudios metacientíficos y las teorías de la formación, específicamente porque por tratarse de un fenómeno tan complejo como el de la educación, la selección de los contenidos en particular y la formación del ser humano, deben estar previamente estudiada según un análisis didáctico que tenga en cuenta las condiciones antropológicas del hombre en tanto ser educable o formable, esto conduce a considerar la didáctica como algo más que metódica, donde debemos analizar las bases “antropogénicas y socioculturales” de nuestras decisiones metódicas, de los medios que usamos, etc. (Garcés, 2011).

⁶ Este concepto será desarrollado en los capítulos 3 y 4 de este trabajo.

⁷ El concepto de currículo tiene su desarrollo fuerte en el contexto angloamericano. Esto sugiere una diferencia entre didáctica y currículo que no es trivial. Es importante porque señala los usos conceptuales y sus implicaciones prácticas en relación con la formación (Bildung) que ha sido un concepto trabajado en la pedagogía alemana. Con sus respectivos matices, el concepto currículo no incorpora la pregunta por la formación (Bildung) y se ha concentrado, inicialmente, en la organización y control de los contenidos que deben ser enseñados. Su evolución hacia un enfoque investigativo se da con la emergencia de las teorías curriculares, donde se analiza “la determinación de objetivos generales y especiales pasando por la selección de temas y contenidos, así como la elección adecuada de objetivos y contenidos de la organización de la enseñanza y los métodos de enseñanza y aprendizaje, hasta los medios de enseñanza y el desarrollo de test con orientación hacia los objetivos de aprendizaje” (Klafki, 1993, p. 12). Precisamente en este punto es donde se podría dar un encuentro entre los temas y problemas del currículum con los temas y problemas de la didáctica, al menos en su estrecha relación con la problemática de los métodos (Klafki, 1995b). No obstante, estoy de acuerdo con Peterßen (1993) en que aunque la didáctica y el currículum están interrelacionados como teoría y práctica, la didáctica no es únicamente teoría curricular, sino que es la “teoría absoluta de la enseñanza y el aprendizaje, como ciencia que se dedica a todos los fenómenos de la enseñanza y del aprendizaje y que trata de compilar todos los procesos y factores de esta área, incluyendo todas las condiciones que influyen sobre ella y todos los efectos que emanan de ella”. En los próximos capítulos me ocuparé de este tema haciendo énfasis especialmente en el concepto de formación (Bildung), que como término pedagógico y filosófico, no es incorporado ni en la didáctica de las ciencias ni en la teoría curricular.

Ordóñez (2002), reflexionar sobre la teoría y el experimento resulta ser importante por la radical preponderancia que tiene la teoría sobre el experimento. Efectivamente, el enfoque de la filosofía de las prácticas experimentales plantea que hay una correlación entre teorización y experimentación. Esta propuesta surge porque usualmente el experimento se reduce a confirmación de teorías, este tipo de propuestas se encuentran, por ejemplo, en la filosofía de la ciencia popperiana (Popper, 1980). Los trabajos que ponen al mismo nivel la experimentación y la teorización, son importantes porque, tradicionalmente, el enfoque teórico –que se enfoca en la elaboración conceptual– olvida el papel de la experimentación en la construcción y generación de conocimiento. En este caso, el experimento tiene en sí mismo una forma de proceder especial y tanta coherencia interna como la teoría. Así las cosas, la práctica experimental no se da estrictamente en términos de verificación de la teoría, sino que tiene que ver, como lo sostiene Malagón, Sandoval y Ayala (2013), con la construcción y comprensión de las fenomenologías en estudio.

Así como en la actividad científica en general se le ha dado prioridad al papel hegemónico de la teoría sobre la experimentación, en la clase de ciencias también se ha priorizado la elaboración conceptual, en este caso expresada en el aprendizaje memorístico y operativo de los conceptos científicos (Kuhn, 2011), lo que ha tenido como consecuencia que la práctica experimental en la enseñanza se reduzca a la verificación de relaciones conceptuales construidas en el campo de la ciencia (Malagón et al., 2013).

En los programas de estudio, desde este enfoque, las relaciones entre la ciencia, la tecnología y la sociedad son más importantes (Duschl, 1990). Ello no quiere decir que los demás contenidos científicos no sean relevantes, quiere decir que no son suficientes en la enseñanza y que sólo cubren parcialmente una parte de lo que es la ciencia. Este problema en la filosofía de la ciencia es lo que se conoce como el contexto de descubrimiento y el contexto de justificación, siendo este último el que ha tenido especial relevancia en los programas de estudio y el que se ocupa específicamente de dar razones lógicas para la corroboración del conocimiento. Como he dicho, en el contexto de justificación, que usualmente es el que se enseña, se tiene sólo una parte de lo que es la ciencia. Esto lleva a pensar en una ciencia exitosa, que ofrece verdades absolutas y sin obstáculos ni transformaciones. Por el contrario, el reto que se pone en evidencia con la incorporación de

los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias, es un enfoque más cercano al contexto de descubrimiento.⁸ Efectivamente, hay que tener presente que es incorrecto juzgar unas teorías como menos coherentes que otras –piénsese en los geocentristas y heliocentristas– y hay que reconocer con el mismo valor las contribuciones científicas pasadas y actuales. La racionalidad de la ciencia, como mostraré a continuación, no obedece estrictamente a factores lógicos y es posible explicarla en términos sociológicos.

Los análisis anteriores se conocen en el campo de los didactas de las ciencias como Naturaleza de las Ciencias (NdC), que no es más que una meta-reflexión realizada desde la filosofía, la historia y la sociología de las ciencias. A mi modo de ver, esta denominación de “Naturaleza de las Ciencias” considerada filosófica y sociológicamente, ya es problemática; por lo que optaré en este trabajo por aludir a estas disciplinas como estudios metacientíficos o estudios sobre la ciencia según la larga y consolidada tradición filosófica.

Mucho se ha discutido ya sobre la introducción de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias con un reiterado hábito de mezclar y hablar en los mismos términos de tradiciones y propuestas que, en los debates metacientíficos, han sido tan heterogéneas como la misma cantidad de filósofos de la ciencia. Por ejemplo, analizar la sociología de la ciencia de Merton y el Programa Fuerte con los mismos conceptos sociológicos, pensar en incorporar las propuestas de Latour y Bloor en los mismos términos cuando ambos autores toman distancia uno de otro por la forma de estudiar la práctica científica e introducir la historia de la ciencia sin distinguir las “grandes narrativas”⁹ del revisionismo histórico, tiene como consecuencia un análisis sobre los problemas científicos enfocado en los grandes nombres y sus descubrimientos, y no en la diversidad de sus prácticas y su contexto de emergencia. Por esto sostengo que las perspectivas de análisis filosóficas, históricas y sociológicas son mucho más complejas que su sola incorporación en la enseñanza. Mostraré los aportes y problemas del uso de la filosofía de la ciencia clásica en la didáctica de las

⁸ En las siguientes secciones de este primer capítulo mostraré los límites y alcances del contexto de descubrimiento y plantearé por qué, aunque en principio se puede asumir como un contexto enriquecedor para el estudio de la ciencia y su enseñanza, en últimas sólo corrobora los argumentos del enfoque logicista.

⁹ Entiendo por grandes narrativas las investigaciones que presentan en términos de *desarrollo y consolidación* el origen y culminación de la Ciencia Moderna. En estos estudios se encuentran los trabajos de Cohen (1989); Butterfield (1958); Hall (1985).

ciencias y propondré un enfoque de análisis con base en los conceptos del Programa Fuerte y el revisionismo histórico.

El uso de la filosofía de la ciencia clásica en la didáctica de las ciencias: aportes y problemas

Ya se ha insistido en la necesidad de utilizar los estudios metacientíficos en la educación en ciencias en general y en la formación de maestros en particular (Driver, 1996; Duschl, 1995; Hodson, 2003; Matthews, 1994). Sin embargo, a pesar de la riqueza académica y formativa que representan los meta-análisis sobre la ciencia en el contexto de la didáctica de las ciencias, son más los obstáculos que los consensos que se presentan tanto en la comunidad de investigadores como en los maestros en formación. Como lo menciona Adúriz-Bravo (2005), la incorporación de este carácter metacientífico ha requerido adecuar las estructuras, enfoques, metodologías, materiales y textos y, sobre todo, acercar a los futuros profesores y profesores de ciencias en ejercicio, al conocimiento y la enseñanza de contenidos que estaban poco presentes en los programas de estudio de ciencias naturales. Adicionalmente, otro de los inconvenientes que se presentan es que aún no es claro cuál es el enfoque más adecuado de los estudios metacientíficos para ser usado en la didáctica de las ciencias. A continuación me ocuparé de este problema para ofrecer elementos de ponderación en los próximos capítulos sobre la discusión de los contenidos que deben constituir el campo de los estudios metacientíficos en relación con la didáctica y la enseñanza de las ciencias.

Uno de los temas que ha ocupado la agenda tanto de filósofos de la ciencia como de historiadores y sociólogos, es el de la teoría y la experimentación. Además, es un problema que en la práctica científica tiene un papel relevante en relación con la evaluación de las teorías científicas. Sin lugar a dudas, este tema también tiene un impacto directo en la enseñanza de las ciencias porque la ciencia que se enseña es la misma que se practica.¹⁰

¹⁰ Por ejemplo, en el debate conocido como *Quaestio de Certitudine Mathematicarum*, los defensores de la cientificidad de las matemáticas, en virtud de que eran profesores, no separaban sus propuestas de las prácticas, de modo que su enseñanza jugaría un papel determinante para la instauración de la explicación cuantitativa en el estudio de los fenómenos naturales. Para ampliar este tema se puede consultar: Giacobbe, (1972b, 1972a, 1972c); Ochoa, (2013); Romano, (2004); Vellilla, (2015b, 2015a).

Tanto la didáctica como la enseñanza de las ciencias se han concentrado en contenidos científicos (hechos, leyes, conceptos, teorías) que han sido enseñados de forma estática e incuestionable (Ayala, 2006; Kuhn, 2011), esto se corresponde con la concepción de los estudios sobre la validez del conocimiento que se enfocan estrictamente en el análisis sintáctico o semántico de las teorías científicas, por lo tanto, no se tienen en cuenta factores sociales, históricos, culturales, psicológicos etc. En efecto, sostengo que una postura como la anterior representa un problema para comprender la ciencia tanto en la práctica como en su enseñanza. Por ejemplo, uno de los temas recurrentes en filosofía de la ciencia y en enseñanza de las ciencias es el del método científico y, como lo denomina el profesor Guerrero (2015), la evaluación de teorías científicas. Éste es uno de los temas habituales porque en la actividad científica en general y en la enseñanza de las ciencias en particular, los criterios lógicos tienen un papel preponderante para elegir qué teoría es mejor y qué incorporar en los programas de estudio, respectivamente. En primer lugar, hablar sobre elección de teorías más satisfactorias representa un problema toda vez que dicha elección tiende a desconocer los demás elementos involucrados en la producción y generación del conocimiento, como factores sociales e históricos. Pensar en factores contextuales conlleva a rechazar dos tesis fuertes en la tradición filosófica, a saber: que hay un único método científico y, que en la evaluación de teorías, intervienen sólo elementos formales (Guerrero, 2015) tal y como lo sostiene Reichenbach (1938). Sin lugar a dudas, tal concepción de la ciencia y de un único método científico, ha tenido un gran impacto en la didáctica y en la enseñanza de las ciencias. Los programas de estudio en enseñanza de las ciencias, sobre este tema, giran en torno al aprendizaje del método científico como una serie de pasos seguros, que involucran la observación, experimentos, proferir una teoría y comprobarla. Aquí se evidencia una concepción clásica de la ciencia y un estudio metacientífico clásico de ella que permea la enseñanza y las investigaciones didácticas sobre los contenidos a enseñar.

De esta manera, cuando me refiero a una concepción clásica de la filosofía de la ciencia en la didáctica de las ciencias, hago referencia a una corriente que, para seleccionar los contenidos que formarán parte de los programas de estudio, tiene una visión de la ciencia justificacionista, es decir, un enfoque que atiende a la justificación de los criterios que legitiman el conocimiento, como lo plantea Popper (1980):

He dicho más arriba que el trabajo del científico consiste en proponer teorías y en contrastarlas. La etapa inicial del trabajo científico, que consiste en concebir o inventar una teoría, no exige el análisis lógico ni es susceptible de él (...) La cuestión de cómo se le ocurre una nueva idea a una persona –ya sea un tema musical, un conflicto dramático o una teoría científica puede ser de gran interés para la psicología empírica, pero carece de importancia para el análisis lógico del conocimiento científico. Este no se interesa por cuestiones de hecho (el *quid facti?* de Kant), sino únicamente por cuestiones de justificación o validez (el *quid juris?* kantiano). (pp. 30-31)

Esta concepción sobre la ciencia se fortalece si se tiene en cuenta la división del trabajo entre la lógica y la sociología planteada por Reichenbach (1968): “Ante el error sólo podemos pedir una explicación psicológica; la verdad exige un análisis lógico” (p. 129). Esto quiere decir que la verdad sólo se puede analizar lógicamente y que se puede demostrar que algo es verdadero porque efectivamente satisface ciertos criterios de racionalidad, en consecuencia, lo que denominamos como *error* sólo se puede explicar en términos de irracionalidad.

Como lo sostiene Duschl (1990) la enseñanza de las ciencias se ha concentrado en un currículo que tiene como punto de partida una filosofía de la ciencia justificacionista, y ello ha hecho emerger dos enfoques significativos en la enseñanza:

- 1) El enfoque de los *procesos*, que destaca las destrezas genéricas y las técnicas que la ciencia utiliza para recoger, manipular e interpretar los datos.
- 2) El enfoque de *indagación* que recalca la importancia de las actividades de manipulación y la investigación, y el papel del estudiante como un aprendiz activo. (p. 13)

Según Duschl, los conocimientos, hechos, hipótesis y teorías –que se corresponden con el primer enfoque– se enseñan porque son importantes en la actividad científica y contribuyen al establecimiento del conocimiento moderno. Una consecuencia de este enfoque en la enseñanza de las ciencias, es que se les presenta a los estudiantes “un cuadro incompleto de la ciencia”, dado que se les proporcionan tareas diseñadas para enseñar lo que

se conoce por ciencias, esto es, enseñar y mostrar los procesos que justifican lo que sabemos. Duschl sostiene que este tipo de enseñanza busca mejorar el conocimiento científico de los estudiantes y es la “cara de comprobación de la ciencia”. La otra cara de la ciencia –según Duschl– es “el cómo” –que se corresponde con el segundo enfoque– En este se hace énfasis en que los estudiantes sepan cómo hemos llegado a creer en un concepto científico y no en otro, o por qué empleamos determinado método para la recolección de datos (mediante imágenes infrarrojos a través de satélites) en lugar de otros (fotografías aéreas). En este caso, la indagación tiene como propósito que los estudiantes trabajen como científicos y que comprendan que el conocimiento científico se construye y se reconstruye, no siempre sobre sólidos fundamentos sino, también, mediante lógicas defectuosas y enunciados provisionales. El problema es enseñar el “qué” sin enseñar el “cómo”. Duschl propone que una alternativa es “reconocer la segunda cara de la ciencia (la cara del descubrimiento)”. Esto es, diseñar unidades didácticas que incorporen el desarrollo del conocimiento sobre la ciencia en los estudiantes.

En efecto, una de las tesis principales de Duschl es que en la medida que la enseñanza de las ciencias apunta a una organización curricular que tiene como eje explicativo la filosofía de la ciencia justificacionista y, que además, dicha organización es realizada por instituciones administrativas, entonces el profesor debe tomar decisiones sobre el diseño curricular atendiendo al contexto de descubrimiento con el fin de proporcionar a los estudiantes una comprensión adecuada sobre la ciencia.

Sin embargo, dicha tesis sólo evidencia los peligros que tiene el reiterado uso de ambas distinciones –contexto de descubrimiento y contexto de justificación–, incluso cuando las intenciones se enfocan en darle primacía al contexto de descubrimiento. Como mostraré en los siguientes puntos, el estudio –por parte de los didactas de las ciencias– sobre los contenidos que se deben enseñar teniendo como principio orientador la distinción de ambos contextos, se debe reformular. No es que el conocimiento se descubra y luego se justifique, para entenderlo debemos atender a los contextos en los que surge mediante el estudio empírico o estudios de caso, porque allí están las claves para comprender las dinámicas de construcción de las teorías y la explicación de su contenido.

El enfoque socio-histórico de la Naturaleza de las Ciencias: una caracterización a partir del debate internismo-externismo

El debate internismo-externismo (internalism vs externalism) es una vieja discusión cuyos orígenes se pueden rastrear en disciplinas como la sociología y la historia de la ciencia (Shapin, 2005). En principio, no fue un debate que haya ocupado la agenda de los filósofos de la ciencia porque ellos no estaban preocupados por asuntos sociales sino enfocados en la tarea de explicar lógicamente la naturaleza del cambio científico. No obstante, este debate ha tenido una influencia fuerte –explícita o implícita– en el trabajo de didactas de las ciencias como Richard Duschl. Como lo señalé en el punto anterior, para Duschl (1990) es importante atender al contexto de descubrimiento con el fin de proporcionar a los estudiantes una comprensión adecuada sobre la ciencia. Con base en la distinción internismo-externismo, voy a mostrar por qué es inviable pensar en un enfoque socio-histórico de la Naturaleza de las Ciencias centrado en la distinción contexto de justificación y contexto de descubrimiento.

Como lo plantea Joseph Rouse (2002), el contexto histórico no puede garantizar una explicación válida sobre los juicios científicos, pues los contextos son diferentes y nuestros procesos cognitivos también. En contraste, las relaciones lógicas formales se proponen como condiciones necesarias del significado. En este sentido, la normatividad debía basarse en reglas formales a priori y por ende hablar y pensar sólo sería posible siguiendo estas normas, de lo contrario, no podríamos decir nada en lo absoluto. Este tipo de planteamientos conducen a la filosofía de la ciencia a explicar la naturaleza del conocimiento científico, mientras que la historia de la ciencia queda relegada, como lo caracteriza Thomas Kuhn (2011) en la primera parte de *La Estructura*, a narrar cronológicamente las proezas del pensamiento científico.

En el párrafo anterior se evidencian las dos posturas que entran en conflicto, a saber, el internismo y el externismo. Efectivamente, el internismo se caracteriza, como lo planteó Rupert Hall (2009) por incluir los cambios que ocurrieron en la ciencia y el pensamiento racional en general; el externismo incluye una diversidad de factores sociales. En el siguiente esquema se puede observar con detalle tal separación:

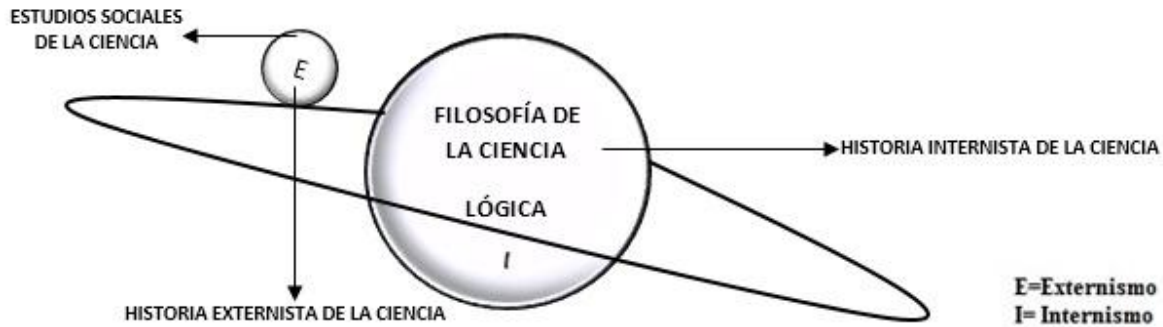


Figura 1
Externismo-Internismo

Caracterización del esquema: la teoría sobre la racionalidad de Lakatos y Kuhn

Imre Lakatos (1987, 1989) propone un modelo epistemológico para que el historiador de la ciencia reconstruya la “historia interna” y ofrezca explicaciones racionales del conocimiento objetivo con base en los elementos metodológicos que brinda la filosofía de la ciencia, esto, a través de “programas de investigación” racionales (Lakatos, 1987, p. 1). Donde Kuhn ve las anomalías como un cambio de los compromisos profesionales, Lakatos las desarrolla en virtud de su Historia interna: “Donde Kuhn y Feyerabend ven cambios irracionales, yo predigo que el historiador podrá probar que ha habido cambio racional” (Lakatos, 1987, p. 64). Así, los científicos defienden su programa en tanto tienen un cinturón protector, lo defienden racionalmente a través de sus heurísticas ya sea de una forma progresiva o degenerativa, porque “es primordialmente la heurística positiva de su programa, no las anomalías, la que determina la elección de sus problemas” (Lakatos, 1987, p. 26).

Este concepto de “Historia interna”, –incluso el de “historia externa”– también es, según Kuhn, un concepto que no forma parte de la comunicación que le es familiar. Es decir, para Lakatos “lo interno” viene a significar el tipo de historia que se centra exclusivamente sobre las actividades profesionales de los miembros de una comunidad científica particular y “lo externo” como la consideración de la relación entre las comunidades científicas y las culturas (Lakatos, 1987, p. 85). Kuhn critica que Lakatos excluya, en su visión de la historia interna, el análisis de la idiosincrasia personal en la elección de una teoría, el acto creador que la produjo o la forma del producto que resultó, datos históricos, como el fracaso del hombre al crear una teoría y los errores que una generación posterior interprete y corrija. “En

ambos, factores tales como la religión, la economía y la educación son externos; mientras que las Leyes de Newton, la ecuación de Schrodinger y los experimentos de Lavoisier son internos” (Lakatos, 1987, p. 86).

Los datos históricos son centrales y fundamentales para un historiador internalista de la ciencia, ya que proporcionan las pistas de lo que realmente sucedió. De este modo, Kuhn menciona que el hecho de que Lakatos no incluya estos aspectos de la historia interna, demuestra que el uso del término no es adecuado. Para ello, Kuhn sostiene:

[...] el término 'interno' en Lakatos comporta, además del uso ordinario de 'racional', una característica muy importante: en cuanto criterio de selección, es anterior al estudio de la historia e independiente de ella [...] Si 'historia interna' es simplemente la parte racional de la historia, entonces el filósofo sólo puede aprender de ella, por lo que a método científico se refiere, lo que previamente introduzca. (Lakatos, 1987, p. 87)

Como lo sostiene Kuhn en sus *notas sobre Lakatos*, él estaría de acuerdo con Lakatos cuando afirma que “la historia de la ciencia es una historia de eventos seleccionados e interpretados de forma normativa” (Lakatos, 1987, p. 43), pero sólo si esto significase que los historiadores seleccionan e interpretan necesariamente los datos históricos. No obstante, Kuhn sostiene que al introducir el término “normativo”, Lakatos indica que la filosofía de la ciencia proporciona metodologías normativas al historiador, de modo que su afirmación no se da en términos de selección e interpretación –del historiador– puesto que le da un papel preponderante a una filosofía previa, la cual suministra el conjunto total de criterios por los que el historiador actúa de tal modo (Lakatos, 1987, p. 88).

Kuhn le reclama a los “programas de investigación” de Lakatos, un papel más importante para la historia porque según los criterios expuestos respecto de la historia interna, la función filosófica de la historia queda “privada” (Lakatos, 1987, p. 89). Lakatos propone que para mencionar las discrepancias entre la historia y su reconstrucción racional, se debe señalar la historia interna en el texto e indicar a notas a pie de página cómo la historia real discrepa respecto de su reconstrucción racional (Lakatos, 1987, p. 41). Según esto, para Kuhn

“lo que Lakatos concibe como historia, no es historia sino filosofía que inventa ejemplos” (Lakatos, 1987, p. 89). Construida así, la historia no podría tener el más mínimo efecto sobre la posición previa filosófica que “exclusivamente le dio forma” (Lakatos, 1987, p. 89). Por ello, Kuhn defiende que una previa postura filosófica no debe ser el único criterio o principio selectivo para construir la única clase de historia que pueda contener interés filosófico (Lakatos, 1987, p. 90).

La inviabilidad del enfoque ‘externista’ en la investigación didáctica y la enseñanza de las ciencias

La investigación didáctica en perspectiva histórico-filosófica, como he mostrado, es mucho más compleja que la elección de uno u otro enfoque con el fin de problematizar los contenidos que se pretenden enseñar. En efecto, al interior de cada uno de los enfoques filosóficos, históricos o sociológicos, existen diversas controversias y debates conceptuales en relación con la explicación y comprensión del conocimiento científico. Como lo menciona Adúriz-Bravo (2005), la comunidad de didactas de las ciencias prefirieron enfocarse en la filosofía de la ciencia de 1960 que tuvo gran impacto en los estudios metacientíficos, con autores como Kuhn, Lakatos y Toulmin. Adúriz-Bravo (2005) menciona que fueron dos las razones: “un rechazo frontal al positivismo lógico anterior a ella y un marcado desconocimiento de las producciones posteriores” (p. 5). La primera razón es problemática en tanto las discusiones que allí se gestaron no superaron al positivismo lógico porque la lógica o la validez, como criterios omnicomprendivos para la justificación del conocimiento, siguieron presentes. Otra cosa es que hasta 1962 con la publicación de *La Estructura de las Revoluciones Científicas* se le atribuyera una nueva tarea a la historia de la ciencia, que en lugar de ser “mera cronología” asumiera un papel explicativo. Sin embargo, tal pretensión no desdibuja ni supera un enfoque logicista en los modelos de cambio científico, como se mostró en el punto anterior con el enfoque histórico de Lakatos. Con la segunda razón, estoy de acuerdo.

A partir de la predilección de estos enfoques empezaron a “construir” una orientación histórico-sociológica que, a mi modo de ver, desconocía los problemas al interior de cada una de esas propuestas de análisis. El efecto de desconocer los problemas de estos enfoques

se evidencia en la forma como se abordan y se seleccionan los contenidos que se van a enseñar y la forma como en las investigaciones didácticas se caracteriza la orientación histórico-sociológica. Por ejemplo, se deja de lado una explicación del contenido de la ciencia y se concentran en las repercusiones sociales de las investigaciones científicas, como en el caso de la línea de estudio denominada *Asuntos Sociocientíficos* (ASC). Esta orientación confirma que efectivamente hay una relación ciencia-sociedad, pero al concentrarse en las repercusiones sociales, se recalca la distinción externismo-internismo, lógico-social, contexto de justificación-contexto de descubrimiento.

Este enfoque sociológico se encuentra explícitamente formulado en la sociología de la ciencia de Merton, quien, en efecto, afirma que la ciencia tiene un carácter social. Merton reconoce la importante relación entre la ciencia y la sociedad pero lo hace en términos funcionalistas, de modo que la relación queda disponible para ser abordada en términos de interdependencia: mala integración o buena integración.

Este carácter social de la ciencia equipara “lo lógico” con “lo interno” y “lo social” con “lo externo”, de modo que se le atribuye cierta autonomía a la ciencia en términos de “caja negra”¹¹ y sólo queda para el sociólogo explicar la contingencias que están afuera: intereses, valores, creencias religiosas, políticas, costumbres, etc. González de la Fe y Sánchez (1988) sostienen:

La sociología de la ciencia mertoniana, al igual que la del conocimiento de Mannheim y que la filosofía neopositivista, mantenía una distinción tajante entre el conocimiento científico y el resto de los conocimientos y creencias encontrados en la cultura, de tal forma que la relación de los factores sociales con la ciencia era de un tipo distinto de la existente con otros conocimientos, razón por la cual la sociología de la ciencia no había de entrar en el estudio de los contenidos del conocimiento científico. (p. 76)

¹¹ El término “caja negra” es utilizado para referirse a los contenidos de la ciencia que son inaccesibles para el análisis sociológico. En este sentido, la “caja negra” denota un conocimiento científico autónomo, suprasocial y dotado de características como objetividad, racionalidad, intersubjetividad, verdad, etc. Independiente de influencias externas y desarrollándose según reglas internas (González de la Fe & Sánchez, 1988).

Aunque se suele afirmar que la imagen mertoniana de la ciencia dejó de ser predominante por los trabajos de Kuhn, Feyerabend y Lakatos, de todas maneras el énfasis en la validez del conocimiento concentraba todas las miradas, al punto que propuestas que buscaban comprender el conocimiento científico como producto de la colectividad, eran tachadas de relativistas y por lo tanto insuficientes para acercarse a la racionalidad de la ciencia. La crítica al funcionalismo, que poco es nombrada en los estudios de los didactas de las ciencias, fue la que dio lugar a múltiples enfoques sociológicos que “desafiaban la concepción normativa del orden social y la sustituían, sobre todo en los enfoques microsociológicos, por lo que se ha llamado el giro cognoscitivo” (González de la Fe & Sánchez, 1988, p. 77). Esto es importante porque se cuestionó el papel pasivo del sujeto en el orden del conocimiento y se le atribuyó un papel activo. Esto quiere decir que se pretende explicar y comprender la llamada lógica interna de la ciencia toda vez que es puesta en los mismos términos de cualquier otra actividad humana, por lo que resulta inviable, desde estas nuevas sociologías de la ciencia, continuar distinguiendo entre “lo interno” y “lo social” si su objetivo es explicar “la caja negra”. La tarea es, entonces, explicar el conocimiento científico como el resultado de una estructura social organizada según unos intereses y creencias. En consecuencia, se deja de lado la idea según la cual en la explicación del conocimiento científico tenemos criterios transhistóricos de racionalidad y cánones de científicidad que nos permiten evaluar las teorías científicas. Así las cosas, el papel del sociólogo, y en general, de los estudios sobre la credibilidad del conocimiento, no se reduce a las repercusiones sociales, que como he mostrado aún distinguen “lo lógico” y “lo social” por caminos distintos, para los estudios sobre la credibilidad tal distinción es errada; su tesis fundamental es que

[...] las teorías científicas son el resultado de procesos contingentes y locales de selección de afirmaciones con pretensiones cognitivas que realiza una comunidad con base en supuestos, reglas e ideales aceptados y compartidos, aunque no necesariamente explícitos o explicitables. (Orozco, 2014, p. 53)

En este sentido, surge la necesidad de explicar esa “caja negra” y ofrecer explicaciones sobre el conocimiento científico que no se restrinjan a sus repercusiones sociales; se hace necesario explicar, por ejemplo, las matemáticas y la lógica en términos sociológicos dado

que ni siquiera estas disciplinas, como lo sostiene Bloor (1973), quedan al margen de una construcción social. Así las cosas, si en las investigaciones didácticas y en la enseñanza de las ciencias se incorpora esta nueva imagen de la ciencia, es posible analizar sociológicamente los contenidos de las creencias científicas.

La pregunta: ¿qué es la ciencia? en la formación de profesores de ciencias

Karl Popper en *Conjeturas y Refutaciones* (1991) dice: “Sostengo que el desarrollo continuo es esencial para el carácter racional y empírico del conocimiento científico, que si la ciencia cesa de desarrollarse pierde su carácter” (p. 264). Desde este enfoque la ciencia es objetiva y avanza para acercarse a la verdad. Este estilo de pensamiento tiene como característica captar verdades significativas sobre el mundo mediante teorías potentes con el propósito de que haya progreso (Bloor, 1991).

El progreso en la ciencia, según Popper, no está ligado a una importancia práctica o social, explícitamente lo formula como una postura intelectual o en otras palabras: teórica.

MI PROPÓSITO en esta conferencia es destacar la importancia de un aspecto particular de la ciencia: su necesidad de desarrollarse o, si gustáis, su necesidad de progreso. No me refiero a la importancia práctica o social de esta necesidad. Lo que deseo examinar es, más bien, su importancia intelectual. Sostengo que el desarrollo continuo es esencial para el carácter racional y empírico del conocimiento científico, que si la ciencia cesa de desarrollarse pierde este carácter. Es la forma de su desarrollo lo que hace a la ciencia racional y empírica; esto es, la forma en que el científico discrimina entre las teorías disponibles y elige la mejor. (Popper, 1991, p. 264)

De aquí se deriva el enfoque comúnmente llamado falsacionista, el cual está fundado sobre la base que el progreso de la ciencia se da estrictamente en el desarrollo y cambio conceptual de una teoría frente a otra, porque se evidencian los errores y ‘triunfan’ las teorías más fuertes. Estas se mantienen por cierto tiempo como satisfactorias porque el enfoque

crítico de Popper no señala el alcance de una verdad absoluta, sino, que las teorías siempre se acercan a la verdad. El método que propone Popper para mostrar la fortaleza de una teoría es un test a los que las teorías deben resistir, y en la medida que cada una los supere será una teoría interesante, audaz e informativa. Una teoría así, debe tener mayor contenido empírico, es lógicamente más fuerte, tiene mayor poder explicativo y predictivo (Popper, 1991, p. 267). Un ejemplo de lo anterior lo ilustra con las teorías de Kepler y Galileo que fueron unificadas y superadas por la de Newton, en tanto eran más fuertes y testables (Popper, 1991, p. 269). Así las cosas, la ciencia adquiere un nivel racional y empírico según la forma como los científicos abordan las teorías y seleccionan la mejor.

El estilo de pensamiento de Popper no hace énfasis en las tradiciones donde se construyen las teorías ni en la influencia de una comunidad científica sobre otra, los intereses políticos, económicos, metodológicos. Mientras esta explicación se presenta como un elemento teórico, racional, con un lenguaje privilegiado como lo plantearon Carnap y otros empiristas lógicos y normas formalmente expresables, perspectivas de análisis como las contextuales y sociológicas, afirman que los cambios, errores, obstáculos y logros de la ciencia atienden a factores sociales, culturales e históricos de producción del conocimiento. Este último enfoque resulta más apropiado para la educación en ciencias en tanto representa una superación de la visión clásica de la ciencia.

Una de las tesis reaccionarias a los estudios sobre la validez del conocimiento, sostiene que la ciencia en tanto fenómeno social se genera y se desarrolla a partir de la organización de comunidades científicas, que comparten intereses, creencias, valores, métodos de decisión y diversas formas de discusión. Todo esto hace posible la generación del conocimiento científico. Sin embargo, tradicionalmente se dice que la ciencia debe describir el mundo como es, se trata de una descripción de los fenómenos según su propia realidad tal y como ellos aparecen ante el sujeto. Pero no se puede olvidar que esa descripción es realizada por individuos que manejan unos valores y supuestos, precisamente porque “es la integración de afirmaciones acerca del mundo” (Shapin, 1994, p. 6) de una comunidad. Es decir, las comunidades a través de mecanismos aceptados colectivamente clasifican sus afirmaciones para que formen parte de lo que en un momento concreto asumen como conocimiento.

Ahora bien, ¿cuál es el rol de estos dos enfoques en la concepción de ciencia de los profesores de ciencias? Como bien lo señala Ayala (2006), la historia y la filosofía de las ciencias pueden influir sobre la imagen que de las ciencias tienen los maestros y con la cual orientan su labor profesional. Efectivamente, el primer enfoque –positivismo lógico– (PL) ha tenido mayor influencia en la imagen de la ciencia que tienen los profesores, dado que las tesis del PL se ven reflejadas en la enseñanza de las ciencias porque se piensa en una ciencia que responde sólo a criterios racionales y que puede explicar la realidad tal y como ella es (Quintanilla, 2003). Es claro que el contenido disciplinar es parte fundamental en la formación de maestros de ciencias, pero su formación se ha concentrado, como consecuencia de esta visión (PL), en ejercicios memorísticos de determinados problemas y no en un análisis de la ciencia como objeto de estudio. Así las cosas, los maestros de ciencias en formación, se educan resolviendo problemas mediante las técnicas y los métodos de su campo tratando de obtener el resultado predicho. En consecuencia, la enseñanza de las ciencias se desarticula de los contextos históricos, sociales y culturales de producción del conocimiento.

Por este motivo es importante que tanto los profesores de ciencias como los futuros profesores de ciencias, tengan, en palabras de Romero y Aguilar (2013), “criterios de análisis de su disciplina que les permita diseñar y aplicar selecciones y estructuraciones temáticas alternativas” (p. 2). Aquí los aportes de la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia cobran importancia. En efecto, estos estudios ofrecen una imagen de la ciencia que, como he señalado, puede ser peligrosa si se corresponde con la visión del PL, o puede ser enriquecedora si estudia apelando al contexto histórico y social de la dinámica científica.

Los aportes del Programa Fuerte de la sociología del conocimiento científico para la formación de profesores

El Programa Fuerte (SP) de la sociología del conocimiento científico sostiene que la ciencia es una institución social, es un tipo de saber con unas características especiales como su estructura social, sus formas de organización y su relación con los ámbitos industriales, políticos y económicos. Teniendo en cuenta los dos enfoques estudiados en las secciones

anteriores, el objetivo de las siguientes dos secciones es (1) exponer que el enfoque que se asuma sobre el modo de concebir el conocimiento influye en la formación de profesores de ciencias y en su ejercicio profesional (Ayala, 2006). Sin embargo, dicha tesis, como lo he mostrado, ha pasado por algunos aciertos y desaciertos como consecuencia del desconocimiento de los problemas al interior de los enfoques de análisis que se asuman y de la falta de divulgación y estudio de alternativas de análisis que ofrecen los estudios sociales de la ciencia, en particular la sociología del conocimiento científico (SSK). (2) Mi tesis en este primer capítulo es que el programa fuerte (SP) de la sociología del conocimiento científico en tanto apunta a los análisis empíricos (estudios de caso), constituye una adecuada explicación para comprender el conocimiento científico y, en consecuencia, uno de los enfoques disponibles más apropiados para las investigaciones en didáctica de las ciencias con perspectiva histórico-sociológica. Por ello, este análisis centrado en los estudios sobre la credibilidad se enfocará en una interpretación alternativa sobre el conocimiento científico, porque aquí, en contraposición a los estudios sobre la validez del conocimiento, se consideran un número mayor de factores¹² que constituyen la actividad científica, lo cual permitiría una visión más amplia tanto del conocimiento científico como de su enseñanza porque se supera la imagen tradicional de la ciencia, aquella que se presenta como mera teoría, que apela a un método de investigación, y que postula sus “verdades” como ya establecidas. Para justificar este análisis se tendrán en cuenta las propuestas que sostienen que la educación científica es un acontecimiento socio-cultural que exige un análisis pedagógico y un diálogo con otras disciplinas (Driver, Newton, & Osborne, 2000; Duschl & Osborne, 2002; Hodson, 2003; Matthews, 1994, 2005; Quintanilla, Izquierdo, & Adúriz-Bravo, 2005). Entre otras cosas, el análisis de este enfoque aporta una respuesta a la pregunta formulada por el Grupo de Investigación ECCE en Colombia: ¿Cuáles de los enfoques de la HFC resultan más adecuados para las reflexiones sobre la educación en ciencias? (Romero & Aguilar, 2013). Y en general a contribuir conceptualmente a la discusión a nivel internacional sobre las relaciones entre la historia, sociología y filosofía de la ciencia con la didáctica de las ciencias.

El SP se basa en cuatro principios planteados por Bloor (1991):

¹² Su estructura social, sus formas de organización y su relación con los ámbitos industriales, políticos y económicos, etc.

1. Ofrecer explicaciones causales con el fin de explicar las causas y condiciones que dan lugar a las creencias o estados de conocimiento.
2. Ser imparcial sobre lo que se considera en una época verdadero o falso, racional o irracional. Ambos lados de la dicotomía requieren explicación.
3. Debe ser simétrica y someter a todo conocimiento, independientemente de su éxito o fracaso, a los mismos tipos de explicación.
4. Debe ser reflexiva en la medida que sus patrones de explicación deberían aplicarse a la sociología misma.

El SP se gestó en la Escuela de Edimburgo y sus explicaciones constituyeron un fuerte rechazo y crítica a la sociología de la ciencia tradicional que mantenía una seria distinción entre la lógica inmanente de la ciencia y el análisis sociológico de ella. Su tesis principal es que la ciencia es una institución social y la investigación científica una actividad humana porque “el componente social del conocimiento está siempre presente y siempre es constitutivo del conocimiento” (Bloor, 1991, p. 166). Esto quiere decir que se rechaza la distinción “externismo” – “internismo” considerada en la sección anterior porque el conocimiento no es distinto de lo social ni influye sobre él. De ahí que el conocimiento científico sea el producto de una práctica colectiva y, en consecuencia, susceptible de análisis sociológico.

En este sentido la noción de causalidad tiene mucha importancia porque mediante ella se da cuenta de las creencias evaluadas satisfactoriamente como rechazadas, “pues a fin de cuentas los criterios de evaluación son construidos socialmente” (González de la Fe & Sánchez, 1988, p. 87). De esta manera se observa que hay lazos causales que conectan las formas de control social, sus usos en la naturaleza su conocimiento científico y las acciones de los científicos (González de la Fe & Sánchez, 1988, p. 87). En efecto, lo que se evidencia es que la actividad científica es un conjunto de *acciones* con pretensiones cognitivas y con muchos mecanismos para clasificar las afirmaciones (Orozco, 2014).

Así las cosas, la verdad y la falsedad son cuestiones consideradas en contexto y expuestas por una comunidad con sus propios intereses y recursos para preservar y mejorar, así como para transformar, la clasificación de las afirmaciones. El profesor Orozco (2014)

sostiene que esto supone y constituye “la interacción organizada de individuos en tanto se orientan al conocimiento del mundo”.

Según lo anterior, el éxito de una teoría depende de los recursos y habilidades de sus partidarios para “en términos de ideales, normas y mecanismos aceptados por la comunidad”, demostrar su superioridad. Tales recursos están relacionados con el control cognoscitivo, simbólico y económico de la comunidad (González de la Fe & Sánchez, 1988).¹³

Una de las principales críticas al SP es que todas las creencias son igualmente verdaderas o falsas, lo cual conlleva a sostener una forma de relativismo. Bloor y Barnes (1982) sostienen que el punto de partida de las doctrinas relativistas es:

1. La observación de que las creencias sobre un asunto varían y
2. que la escogencia de esas creencias, en un contexto determinado depende de, o es relativa a las circunstancias de los usuarios.
3. Además hay una tercera característica del relativismo que se refiere a la exigencia de lo que podemos llamar “simetría” o un “postulado de equivalencia”. Por ejemplo, puede asegurarse que las concepciones generales del orden natural, ya sean desde el punto de vista aristotélico, o de la cosmología de un pueblo primitivo, o de la cosmología de un Einstein, son todas, igualmente falsas o igualmente verdaderas.
(p. 22)

Estas formas de relativismo sólo denotan serias dificultades sobre las creencias contradictorias y sobre el estatus de las propias afirmaciones del relativista. Si el conocimiento científico para los estudios sobre la credibilidad es considerado como algo construido, es porque el postulado de equivalencia que manejan Bloor y Barnes se refiere a las causas de la credibilidad, no a considerar las creencias igualmente verdaderas o igualmente falsas, sino que “independientemente de la verdad o de la falsedad, el hecho de su credibilidad debe verse como igualmente problemático” (Bloor y Barnes, 1982, p. 23).

¹³ Sobre un estudio de caso que evidencie estos elementos, se puede consultar el trabajo realizado por Shapin y Schaffer (2005).

Este es el postulado de equivalencia:

Nuestro postulado de equivalencia consiste en que todas las creencias están a la par en relación con las causas de su credibilidad. Esto no quiere decir que todas las creencias sean igualmente verdaderas o igualmente falsas, sino que independientemente de la verdad o la falsedad, el hecho de su credibilidad ha de considerarse igualmente problemático. (Bloor & Barnes, 1982, p. 23)

El punto aquí es indagar por las causas de la credibilidad. De esta forma no se trata de asumir una forma de relativismo sino que tanto las creencias que se asumen como verdaderas, así como las creencias que se asumen falsas, requieren explicación causal.

Con todo, de lo que se trata no es de reemplazar las categorías lógicas por sociales, sino de mostrar que la actividad científica sólo es posible por la organización en comunidades, los usos del lenguaje, la importancia de las tradiciones, las formas como mejoran, mantienen y modifican sus creencias, etc. Lo que se defiende es que “la incidencia de todas las creencias, sin excepción, requiere una investigación empírica que explique las causas específicas y locales de esta credibilidad” (Bloor & Barnes, 1982.). Aquí se inscribe el naturalismo de Bloor porque él plantea que el sociólogo debe explicar esos recursos y habilidades que constituyen la institucionalidad de la ciencia a partir de determinantes naturalistas, estos son los que se relacionan con la organización social de las comunidades científicas y el medio social al cual están vinculadas. Es por ello que el sociólogo de la ciencia ofrece una explicación sobre las causas de la credibilidad y asume tal estudio como naturalista, sus ideas se expresan en el mismo lenguaje causal que las de cualquier otro científico:

Sus ideas, por tanto, se expresarán en el mismo lenguaje causal que las de cualquier otro científico. Su preocupación consistirá en localizar las regularidades y principios o procesos generales que parecen funcionar dentro del campo al que pertenecen sus datos. Su meta será construir teorías que expliquen dichas regularidades; si estas teorías satisfacen el requisito de máxima generalidad tendrán que aplicarse tanto a las creencias verdaderas

como a las falsas y, en la medida de lo posible, el mismo tipo de explicación se tendrá que aplicar en ambos casos. La meta de la fisiología es explicar el organismo sano y el enfermo; la meta de la mecánica es comprender las máquinas que funcionan y las que no funcionan, tanto los puentes que se sostienen como los que caen. De manera similar, el sociólogo busca teorías que expliquen las creencias que existen de hecho, al margen de cómo las evalúe el investigador. (Bloor, 1998, p. 36)

Así las cosas, los estudios sobre la credibilidad se orientan a (1) explicar las conexiones entre la estructura social general de los grupos y la forma general de las cosmologías que sostienen. (2) A explicar las conexiones entre el desarrollo económico, técnico e industrial y el contenido de las teorías científicas. (3) A considerar en qué medida características culturales, que usualmente se denominan no científicas, influyen en la creación y evaluación de teorías y descubrimientos científicos. (4) Explicar los modelos de rechazo y aceptación con base en la importancia que tienen los procesos de formación y socialización en la práctica científica (Bloor, 1998).

De esta manera, en este enfoque se le atribuye especial importancia a los estudios empíricos (estudios de caso). Como lo expuse en líneas anteriores, para la perspectiva lakatosiana los estudios de caso tienen una función ilustrativa, pero no es así para el SP, se trata de investigaciones sobre la naturaleza del conocimiento, que “es contingente y local” (Orozco 2014). Esto significa que lo que para la sociología de la ciencia era considerado como una “caja negra”, para el SP requiere una explicación porque se deben explicar hasta los aspectos más abstractos de la actividad científica.

Algunos estudios que se inscriben en este enfoque son: *A Social History of Truth: Civility and Science in Seventeenth-Century England* de Stiven Shapin (1994). Aquí sostiene que los problemas de credibilidad en la ciencia se resolvieron a través de los códigos y convenciones de una conducta refinada: la confianza, la cortesía, el honor y la integridad. *Leviathan and the air-pump. Hobbes, Boyle and the experimental life* de Shapin y Schaffer (2005). Es una investigación cuya tesis principal es que las soluciones al problema del conocimiento están asociadas a las soluciones prácticas dadas al problema del orden social,

y que diferentes soluciones prácticas al problema del orden social involucran soluciones prácticas distintas al problema del conocimiento. *Discipline and Experience: The Mathematical Way in the Scientific Revolution* de Peter Dear (1995). Aquí Dear realiza un estudio histórico, desde la sociología del conocimiento, en el que se evidencia cómo la filosofía natural devino en matemática. Analiza las ciencias matemáticas del siglo XVII: la astronomía, la óptica y la mecánica, no como ideas abstractas, sino como empresas vitales que implicaban prácticas relacionadas con la experiencia y el experimento. El profesor Orozco (2014) también llama la atención sobre otros estudios: *Towards an Analysis of Scientific Observation: The Externality and Evidential Significance of Observational Reports in Physics* de Trevor Pinch (1985). Es un estudio sobre los neutrinos solares donde se indican algunas características de los reportes de observación en la física a partir de la significación de la evidencia. Y *Inventing accuracy: a historical sociology of nuclear missile guidance* de Donald MacKenzie (1993). Es una investigación sobre la construcción de los sistemas de orientación de los misiles nucleares durante la guerra fría, el cual le permite a Mackenzie postular algunas características de los *test*, no sólo para efectos de la comunidad científica misma sino también para usos políticos y la influencia en la opinión pública.

Dado que le he dado importancia a los estudios empíricos (estudios de caso) en el enfoque que propongo como alternativa de análisis en la didáctica de las ciencias con perspectiva histórico-filosófica, mostraré en la siguiente sección el impacto para los estudios sobre la ciencia y la didáctica de las ciencias de un caso específico de los siglos XVI-XVII y analizaré, en correspondencia con las tesis del SP, las relaciones entre las matemáticas con la filosofía natural y su concepto central: la matematización del movimiento.

Estudio de caso: aportes para la didáctica y la enseñanza de las ciencias ilustrados en el estudio de la noción de movimiento galileano

En el apartado anterior he mostrado que la ciencia no se reduce a factores lógicos independientes de los contextos, sino que forma parte de las instituciones que constituyen la sociedad. Por ello, el análisis sociológico es importante para la comprensión del conocimiento científico y, como lo defienden Barnes, Bloor y Henry (1996), el método es

presentar estudios de caso históricos. Siguiendo esta línea de análisis, el propósito de esta sección es abordar el problema sobre la legitimación epistemológica de las matemáticas en los siglos XVI y XVII que tiene como punto de inscripción la supuesta incapacidad de éstas de poder explicar las causas eficientes y finales, en comparación con la filosofía natural. Por esta razón se considera que las matemáticas están subordinadas a la filosofía natural. En este contexto, las matemáticas no ofrecen una explicación causal, pero su valor reside en que su carácter demostrativo es el más elevado. Ahí se inscribe el debate sobre la legitimidad de incorporar en la filosofía natural las matemáticas para analizar la naturaleza en términos cuantitativos,¹⁴ lo cual, desde luego implica una reconfiguración de la organización (jerarquización) de las ciencias, tal como sucedió en el surgimiento de la ciencia moderna. Asumiendo el enfoque de análisis del SP, sostengo que la ciencia de Galileo surge en un contexto cultural e intelectual en el que la práctica de las matemáticas se encontraba en reconstrucción por parte de algunos matemáticos cuyo campo de investigación estaba en proceso de ser definido. Esto quiere decir que parto de la hipótesis según la cual, si hay una redefinición de las matemáticas, se redefinen no sólo las prácticas, sino que se redefinen sociocognitivamente para mostrar que sus pruebas sí eran causales, contrario a lo que se defendía en la filosofía natural, entendida ésta como el análisis del movimiento y sus causas. Mediante la introducción de un análisis sobre los objetos (plano inclinado, balanza) y su representación geométrica, enfocado en las prácticas, concluiré que el estudio del movimiento es lo matematizable.

Matemáticas y filosofía natural: antecedentes

El problema que abordaré es la supuesta incapacidad de las matemáticas de poder ofrecer explicaciones causales en el contexto del debate sobre sus demostraciones y su certeza (*De Quaestio de certitudine mathematicarum*). En el renacimiento tardío se puede estudiar el estatus sociocognitivo de las matemáticas en el marco de su legitimación en la

¹⁴ Cuando hablo de “términos cuantitativos” no me refiero únicamente a técnicas matemáticas para realizar cálculos. Si bien esto es muy importante sólo cubre parcialmente su significado. En efecto, pensar en una única definición como “ciencias de las cantidades” o “magnitudes” resulta problemático por las diversas prácticas y concepciones sobre la cantidad. En su lugar, lo que quiero señalar es que es importante apelar a una definición históricamente situada y empírica de las matemáticas, lo cual sugiere que lo que debería ser llamado “matemáticas” son las prácticas de los que se llamaron o fueron llamados por otros matemáticos (Roux, 2010; Vellilla, 2015b).

filosofía natural, dado que en este periodo se encuentran diferentes textos y posturas que debaten sobre su certeza y que ofrecen elementos de análisis sobre la incorporación de esta disciplina a la filosofía natural, debates que se dieron por la alegada incapacidad de las matemáticas de ser explicativas en el orden de la causalidad. Particularmente, me refiero a la revisión crítica de la filosofía aristotélica que tuvo lugar en los siglos XVI y XVII. Esta revisión se hizo en todos los frentes,¹⁵ uno de los cuales se refiere a la certeza del que me ocuparé a continuación.

En el caso particular de la naturaleza de las matemáticas y su rigor demostrativo, filósofos naturales como Alessandro Piccolomini (1565), Pietro Catena (1563) y Benito Pereira (1591) afirmaron que las matemáticas no son ciencias. Sin embargo, matemáticos como Francesco Barozzi (1560) y Giuseppe Biancani (1615), trataron de restablecer las matemáticas al orden de las ciencias causales. No pretendo postular a estos autores como las figuras más destacadas en el proceso de la matematización de la filosofía natural. Estos autores se abordan en un primer momento porque son los directos implicados en el debate sobre la certeza de las matemáticas (*De quaestio de certitudine mathematicarum*). Debo agregar que los aportes de Galileo, Kepler, Descartes y Newton –sólo por mencionar unos pocos– son también importantes, como mostraré más adelante con el caso de Galileo Galilei.

Las dos tesis fundamentales de este debate, según Paolo Mancosu (1992), son:

1. ¿Cuál es la relación entre la lógica aristotélica y las matemáticas euclidianas? En otras palabras, ¿se pueden considerar las matemáticas, como a menudo se cree, el paradigma de la ejemplificación de la “ciencia aristotélica” descrito en los *Analíticos posteriores*? Esto llevó a un análisis cuidadoso, en los estándares del renacimiento, de la naturaleza de las demostraciones matemáticas.
2. Si las matemáticas no derivan su certeza por la forma de sus demostraciones, ¿cómo vamos a justificar su certeza y evidencia? (p. 242)

¹⁵ Entre ellos: la certeza de las matemáticas y su posible aplicación para la solución a problemas filosófico-naturales, su estructura lógica y su causalidad. Se pueden consultar también las disputas matemáticas de Hobbes con Jonh Wallis en: Schaffer (1988) y Jesseph (1999).

Los filósofos naturales como Alessandro Piccolomini, Pietro Catena y Benito Pereira tienen como punto de inscripción el ideal explicativo aristotélico, el cual se halla en la causalidad como se puede observar en los *Analíticos Segundos* (78a 25-40)¹⁶ cuando Aristóteles distingue las demostraciones: *hoti* y *dioti*, es decir, el qué y el por qué (*quid* y *propter quid* en latín).¹⁷ Las explicaciones de las matemáticas parece que no se ajustan a los criterios que se señalan en los *Analíticos Segundos*, de hecho, en el comentario a la traducción de las *Cuestiones Mecánicas* pseudoaristotélicas (*Commentarium de certitudine mathematicarum disciplinarum*) realizada por Alessandro Piccolomini, éste sostiene la inferioridad epistemológica de las matemáticas en relación con la lógica porque “la certeza de las matemáticas no surge de la demostración *potissima*” (Piccolomini, 1565, p. 100) en la cual se demuestra, a partir de la demostración *quid* y *propter quid*, la existencia de un efecto y su causa (Velilla, 2015a). Aquí se inscribe el debate sobre la legitimidad de analizar la naturaleza en términos cuantitativos. En este contexto, los ataques a la certeza de las matemáticas se articularon por las diferentes posturas *reaccionarias* que planteaban la separación entre el análisis de la cantidad, del análisis del movimiento, el cual le corresponde a la filosofía natural. En efecto, los filósofos naturales como los arriba mencionados, insisten en preservar la separación entre las matemáticas y la filosofía natural, sometiendo así a la primera a una subordinación con respecto a la segunda porque el énfasis se hace en que las matemáticas no son filosofía natural.

Precisamente, dicho énfasis se hace porque el conocimiento en sentido aristotélico, como lo caracterizó Piccolomini en su *Commentarium*, significa el conocimiento de las cuatro causas. Así, las cuatro causas pueden considerarse cuatro tipos de explicaciones de por qué una cosa es como es. La comprensión aristotélica de las matemáticas implica un estricto fundamento ontológico de éstas y de sus pruebas, mientras que en el ámbito relacionista las pruebas matemáticas se basan en las relaciones entre las figuras y la construcción particular de cada figura. Aquí se encuentra una singular diferencia entre las matemáticas según la perspectiva aristotélica y las matemáticas en la modernidad, las cuales

¹⁶ Utilizo la versión de Gredos cuya traducción es de Miguel Candel (1995).

¹⁷ Para ampliar este tema se puede consultar: Mancosu (1992); Ochoa (2013); Velilla (2015). Se pueden revisar también los trabajos de Giulio Cesare Giacobbe: (1972b, 1972a, 1972c, 1973, 1976, 1977).

se centrarían en el campo relacionista, lo que a largo plazo sería una condición preliminar para el reconocimiento de la geometría no euclidiana (Schöttler, 2012, p. 30).

La ciencia tal y como la concibe Aristóteles, exige que sus principios se refieran con el mismo género que sus objetos.¹⁸ La filosofía natural encaja en esta visión con facilidad, sin embargo, las matemáticas presentan un problema porque aplican sus principios a fenómenos naturales como los rayos visuales, sonidos, movimientos celestes, entre otros. No obstante, en la medida en que se aplican a estos objetos *qua* objetos geométricos, las matemáticas no presentarían este problema. Con esto se quiere mencionar que, si bien los rayos visuales no son idénticos a líneas geométricas ya que tienen diferentes propiedades cualitativas, en una ciencia subordinada se les trata como si tuviesen propiedades geométricas. En efecto, no se debe olvidar que el problema sobre la legitimidad de las matemáticas tiene su origen en si las demostraciones geométricas son capaces de demostraciones *pottissimae*.¹⁹

Ahora bien, el punto central es que las prácticas matemáticas, esto es, el manejo conceptual, las explicaciones, el uso de los objetos, los discursos institucionales sobre su incorporación en los programas de estudio de las universidades, etc., se transforman con la intención de incorporarlas en la filosofía natural. No obstante, en las narrativas clásicas de la historia de la ciencia se asume, sin explicar los obstáculos, transformaciones y errores de su incorporación en las investigaciones filosófico-naturales, que las matemáticas son una disciplina central para la constitución de la Revolución científica de los siglos XVI y XVII. Alexandre Koyré, por ejemplo, considera que el desarrollo de una teoría explicativa de los fenómenos naturales es central para la conformación de la ciencia, y observa que el lugar de la ciencia aristotélica, va a ser ocupado por los desarrollos teóricos de Copérnico, Galileo, Kepler y Newton. Este enfoque historiográfico característico de las “grandes narrativas” pretende capturar un momento histórico en una afirmación general como la “matematización de la naturaleza”. Sin embargo, la relación entre las matemáticas y la filosofía natural debe

¹⁸ Principio de homogeneidad. *Cfr.* Analíticos posteriores

¹⁹ Se puede ampliar el problema conceptual de los rayos visuales desde la *Óptica*, dado que en esta disciplina se considera que tienen propiedades geométricas y por lo tanto se pueden aplicar a ellos este tipo de demostraciones. La demostración *pottissima* (*demonstratio pottissima*) es la que alcanza el mayor grado de certeza en tanto logra proporcionar al mismo tiempo el conocimiento de la causa y el efecto (Velilla, 2015a).

atender a los contextos sociales y culturales de producción del conocimiento, lo que la hace ser una situación mucho más variada y compleja que obedece, precisamente, “no a una matematización de la naturaleza sino a formas de matematización de la filosofía natural” (Vellilla, 2015b).

En la anterior línea de análisis se inscriben los trabajos de Peter Dear. En su libro *Revolutionizing the sciences* (2009) sostiene que el objetivo del siglo XVII se encontraba en el marco de la creación de un nuevo universo y una nueva filosofía natural. Mientras la ciencia moderna se desarrollaba proyectando sus objetivos en un conocimiento operativo y práctico, los conceptos fundamentales y/o constitutivos de la ciencia tradicional fueron objeto de una revisión. Asimismo, en su texto *Discipline and experience* (1995), ofrece un enfoque revisionista sobre la matematización de la filosofía natural resaltando sus aspectos sociales e institucionales de producción de conocimiento. Aquí es preciso recordar que las explicaciones matemáticas tenían un estatus sociocognitivo menor en relación con la filosofía natural porque no se referían a las esencias ni a las causas aristotélicas, por el contrario, las investigaciones filosófico-naturales tenían como objeto de estudio los procesos cualitativos. Por este motivo, la “matematización de la naturaleza” no puede abarcar de una forma general una situación donde emergen cambios conceptuales y prácticos sobre las formas de matematización de la filosofía natural, entendida esta no como formas –ideas– platónicas- sino como formas históricamente construidas.

Así, sobre el tránsito de las matemáticas, de la subordinación a la hegemonía, se puede inferir en el marco de la estructuración, organización y enfoque utilizado en las pruebas de la ciencia, que la ciencia subordinada toma su objeto de la ciencia superior, pero a ésta le agrega un nuevo elemento (Van Dyck, 2006). De este modo, es posible estudiar los objetos de la física a través de las matemáticas, dado que éstas dan a entender que hay una explicación de los objetos que incluyen propiedades matemáticas. Según esto, se hace comprensible lo que significaría dar demostraciones matemáticas, porque teniendo en cuenta que un objeto tiene una propiedad matemática particular, sería posible dar una explicación matemática de por qué tiene esa propiedad, una explicación que contiene principios matemáticos más generales (Van Dyck, 2006, p. 43). En síntesis, un objeto físico tiene una propiedad particular que puede ser descrita matemáticamente, y a su vez, esta propiedad se

debe demostrar apelando a principios matemáticos. Van Dyck (2006) al respecto sostiene: “la parte física de una ciencia mixta da un conocimiento del hecho (explicación *quia*), mientras que la parte matemática da un conocimiento razonado (explicación *propter quid*)”.

Como he dicho, uno de los factores importantes en el nacimiento de la ciencia moderna es la revisión crítica que se hizo a la filosofía aristotélica durante los siglos XVI y XVII. Como parte de estas formas de matematización de la filosofía natural surgieron dos tesis relevantes: por un lado la tesis según la cual las matemáticas no son ciencia, y por otro, la reacción a ésta sugiriendo que sí son ciencia incluso dentro del marco aristotélico porque sí responden a causas. Aquí cobra importancia el debate conocido como *De quaestio de certitudine mathematicarum*, que en principio tuvo su difusión en Italia y se fue extendiendo hacia Francia y Portugal, pasando más tarde por Inglaterra y Polonia. Sin embargo, más allá de la difusión que alcanzó este debate, como lo menciona Nicholas Jardine (1988), su importancia se inscribe también en el problema de la continuidad entre las nuevas ciencias y epistemologías del siglo XVII y sus primeros desarrollos. Jardine plantea que los debates del siglo XVI sobre la certeza de las matemáticas han sido poco estudiados, pero que éstos se reflejan en el tratamiento del estado de las matemáticas por Clavius, Biancani y Galileo, los cuales combinan la certeza y las demostraciones matemáticas con énfasis en el importante papel de éstas en el estudio de la naturaleza.

Matemáticas, experiencia y filosofía natural: Galileo Galilei

En esta sección del texto indagaré sobre las formas conceptuales y prácticas de las matemáticas para producir una explicación de los fenómenos naturales. Es decir, atendiendo a un contexto particular como lo es el de Galileo Galilei, mostraré que las prácticas –conceptos, experimentos, discusiones, testificaciones– se redefinen en relación con el aristotelismo escolástico. El problema es que las explicaciones matemáticas no forman parte de la filosofía natural y, por ello, aunque se trabaja con conceptos matemáticos que no son nuevos en los siglos XVI y XVII, los usos y prácticas de los matemáticos varían con el propósito de obtener el mismo estatus sociocognitivo de los filósofos naturales.

Bertoloni-Meli (2006) problematiza esta redefinición atendiendo a la siguiente pregunta: ¿Cuáles fenómenos se pueden describir de una forma matemática? Aquí plantea que una cosa es sostener que el movimiento de una bala de cañón o el flujo del agua en un río se puede describir en términos de cualidades, pero otra muy distinta es producir una explicación cuantitativamente rigurosa del fenómeno en cuestión. No obstante, el punto no es si los fenómenos pueden o no describirse matemáticamente, de hecho, las matemáticas mixtas, como la astronomía, ya tenían esa función. El problema es si esta descripción puede constituir una explicación en la filosofía natural. Precisamente esto es lo que está en debate, a saber, cómo cambió la noción de explicación y cuáles son los presupuestos filosóficos de este giro epistemológico. Aquí se inscribe el problema del rigor matemático frente al físico, o de otro modo, cómo las matemáticas se incorporan a una nueva física que tiene un lenguaje matemático y una base empírica, lo cual sería un sello distintivo respecto de la física especulativa y cualitativa del linaje aristotélico.

Sin embargo, sostener que las matemáticas se incorporan a una nueva física que tiene un lenguaje matemático y una base empírica, como lo sostiene la narrativa histórica tradicional, es problemático. Nociones como “física”, “matemáticas” y “experiencia”, ocuparon un lugar central en las concepciones sobre la investigación natural en los siglos XVI y XVII. Estas nociones tomaron su vía a partir de la filosofía escolástica de la Edad Moderna, colegios y universidades tanto protestantes como católicos. Según esto, se puede afirmar que ninguna de estas tres nociones aparecieron como “recién llegadas” al discurso y la práctica intelectual, lo que cambió fueron las caracterizaciones que muchos filósofos, en particular los practicantes de las matemáticas clásicas (astronomía, mecánica y óptica), habían comenzado a ofrecer en virtud de sus relaciones mutuas (Dear, 1995).

Galileo fue uno de los filósofos naturales que vio en las matemáticas un modo adecuado de explicar todos los fenómenos físicos sin recurrir a las ciencias ocultas. Adicionalmente, Galileo intentó promover el copernicanismo no sólo aportando pruebas y los argumentos a su favor, sino también debatiendo los argumentos que presentaban en su contra, y trató de promover su propia filosofía de inspiración matemática no sólo por los argumentos en su apoyo, sino también mediante la exposición de las deficiencias del enfoque aristotélico (Henry, 2011). De esta manera, Galileo al mostrar cómo se pueden utilizar las

matemáticas para revelar verdades reales sobre el mundo físico, fue uno de los más grandes de aquellos primeros pensadores modernos que quitaron la barrera tradicional mantenida por la escolástica aristotélica, “entre una filosofía de la naturaleza supuestamente basada en causas físicas y una matemática que fue vista como meramente instrumental” (Henry, 2011, p. 4).

Galileo utiliza una geometría con base en proporciones que es comparativa y relacional. Esto quiere decir que da cuenta de una cosa mostrando su relación con otra, identifica ciertos patrones y regularidades. A esto le subyace una comparación cuantitativa. En este sentido, en *De Motu*,²⁰ Galileo trató de demostrar las insuficiencias de la teoría aristotélica de los movimientos naturales. Allí propone que sólo debe haber una teoría causal del movimiento natural donde lo que se necesita saber es la relación proporcional del peso por el volumen de un cuerpo, –concebido, según Machamer (1998) como la fuerza causada por el peso–²¹ al peso por volumen de su medio circundante.²² Lo que hace Galileo es transformar un problema de caída libre en un problema abordado en términos de cuerpos flotantes. Sin embargo, ¿qué explica la flotabilidad de los cuerpos que no es posible explicar por caída libre? La relación entre el peso por volumen de un cuerpo al peso por volumen de

²⁰ Aquí utilizo la traducción del latín al inglés realizada por Raymond Fredette, disponible en Max Planck Institute for the History of Science: (Galilei, n.d.).

²¹ Como se observa en este trabajo, un estudio sobre el movimiento galileano puede evidenciar la transformación de las prácticas en la filosofía natural, ello implica, también, la redefinición de los conceptos con los que allí se trabaja, como la noción de causalidad. En efecto, en los trabajos de Galileo se puede observar el empleo de esta noción. Ducheyne la denomina “una noción intervencionista”, donde las relaciones causales pueden ser descubiertas explorando y manipulando activamente los procesos naturales (Ducheyne, 2006). Asimismo, Burt sostiene que Galileo trató los movimientos como las causas secundarias de los fenómenos naturales y las fuerzas que los producen como sus causas primarias. Esta última –la fuerza– al ser difícil de conocer, se evidencia mediante sus efectos expresados en el movimiento: “Parecía haber alguna realidad invisible presente que produjera la aceleración observada de los cuerpos. Los movimientos atómicos se tratan simplemente como causas secundarias de los acontecimientos, siendo las causas primarias o últimas concebidas siempre en términos de fuerza” (Burt, 1954, p. 99). De igual manera, Machamer en su artículo “Galileo y las causas” plantea que la noción de causa que utiliza Galileo es la de la tradición de las ciencias mixtas (“scientiae mixtae”): “Intentaré demostrar que, si bien Galileo usa ese lenguaje causal con una intención seria, hay un sentido en el que Drake tiene razón en cuanto a la indiferencia de Galileo por las causas; Galileo es, en su mayor parte pero no siempre, despreocupado por causas extrínsecas y eficientes. Este es un aspecto familiar para aquellos que se ocupan de las ciencias mixtas. Galileo se preocupa mucho por las causas formales y finales, y a veces las causas materiales” (Machamer, 1978, p. 162).

²² Otro enfoque de análisis sobre la explicación causal en el contexto galileano es el que propone Alexandre Koyré en *Études Galiléennes*, donde dice que para Galileo no es importante encontrar la causa de por qué los cuerpos caen, sino la esencia del movimiento de la caída o su definición. Para ampliar este tema se puede consultar Koyré (1966).

su medio circundante, podría describir las fuerzas que actúan sobre el cuerpo para hacer que vaya hacia arriba, abajo o permanecer en reposo.²³ En hidrostática se puede observar cuándo el cuerpo está subiendo, cayendo o flotando en un medio (Drake & Drabkin, 1969; Machamer, 1998). De esta manera, fenómenos como la caída y la flotación deberían ser vistos como un problema asociado al equilibrio. Precisamente en la sección 9 del *De Motu* Galileo sostiene que “todas las cosas que se han demostrado anteriormente son consideradas desde un punto de vista físico, y el movimiento natural de los cuerpos se reduce a los pesos en equilibrio”. En efecto, el movimiento hacia abajo es mucho más natural que el movimiento ascendente porque éste depende del peso del medio (el punto no es que sean movimientos diferentes, sino que se pueden explicar de la misma manera, lo cual es opuesto al argumento aristotélico). Sin embargo, el movimiento hacia abajo es causado por la pesadez inherente al cuerpo. Aparte de cualquier consideración del medio, todas las cosas se moverán hacia abajo. Al igual que en una balanza, el menos pesado es desplazado forzosamente hacia arriba por el más pesado (Machamer, 1998).²⁴ Galileo lo plantea así en la sección 6:

“En el caso de los cuerpos que se mueven naturalmente, como en el caso de la balanza, la causa de todos los movimientos hacia arriba o hacia abajo puede referirse sólo al peso... lo que se mueve es movido, por así decirlo, por la fuerza y por la acción de la extrusión del medio”. (*De Motu*, Capítulo 6)

²³ José Romo sostiene que cuando Galileo aborda su teoría del movimiento natural, en contra de lo que su regla indicaba, la velocidad de caída no se mantenía uniforme sino que aumentaba desde el comienzo del movimiento. Este aumento de velocidad es explicado mediante la teoría de la fuerza impresa. Se inicia con la regla según la cual la velocidad de caída es proporcional a la diferencia entre el peso específico del cuerpo y el del medio. Como la velocidad de caída es menor al principio del movimiento, debe ocurrir que el peso específico haya disminuido. Pero el volumen del cuerpo que cae es constante, luego la disminución debe ocurrir en su peso. El punto central es saber *a qué* se debe esa disminución en el peso. “No puede ser *causada* por un aumento del peso del medio ya que éste permanece constante en el movimiento”. En consecuencia, tiene que haber una *causa extrínseca* que convierta el cuerpo en ligero per accidens. Esta causa es precisamente la fuerza impresa (Romo, 1985, p. 31).

²⁴ Efectivamente lo que se identifica aquí es una relación de la estática (ciencia del equilibrio) y el concepto de pesantez de los cuerpos. Para el caso del plano inclinado, como lo plantean Rodríguez y Romero (2014), la tendencia de los cuerpos a descender se debe considerar de acuerdo a las diversas situaciones donde se presenta, pues, como lo propone Galileo, un cuerpo va reduciendo su tendencia a descender toda vez que disminuye la inclinación del plano, no hay tendencia al descenso si éste es horizontal y se alcanza la máxima siguiendo la vertical.

En la traducción al inglés de *On motion* de Drake y Drabkin el argumento de Galileo se lee así:

“Los movimientos descendentes son mucho más naturales que los ascendentes. Dado que los movimientos ascendentes dependen completamente del peso del medio, el que le confiere al móvil una liviandad accidental; pero el movimiento descendente es causado por el peso intrínseco del móvil. En ausencia de un medio todo se movería hacia abajo. El movimiento ascendente es causado por la acción extrusiva de un medio pesado; del mismo modo que, en el caso de la balanza, el peso más liviano es forzado a moverse hacia arriba por el más pesado, por lo que el móvil es empujado por la fuerza por el medio más denso”. (Drake & Drabkin, 1969, p. 384)

Adicionalmente, Galileo sostiene que el movimiento natural de los cuerpos puede reducirse al movimiento de los pesos en la balanza:

En lo que se explica la correspondencia que tienen los móviles naturales con los pesos de una balanza. Así, primero examinaremos las cosas que suceden en el platillo, para que podamos mostrar que todas estas cosas suceden en el caso de móviles naturales.

La línea ab se entiende como la construcción de la balanza, cuyo centro por encima del cual se produce el movimiento, es c , que divide precisamente la línea ab en dos; y deje que dos pesos, e and o , sean suspendidos de los puntos a y b . En el caso del peso e tres cosas pueden suceder: que esté en reposo, que se mueva hacia arriba o que se mueva hacia abajo. (*De Motu*, Capítulo 6)²⁵

²⁵ In which is explained the correspondence that natural mobiles have with the weights of a balance. Thus we will first examine the things that happen in the scale pan, so that we may then show that all these things happen in the case of natural mobiles.

Thus let line ab be understood to be an equal-armed balance, whose center, above which motion takes place, is c , precisely dividing line ab in two; and let two weights, e and o , be suspended from points a and b .

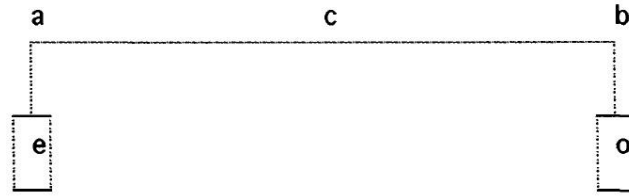


Figura 2
Pesos de una balanza
Tomado de: (Galilei, *De Motu*, Capítulo 6)

Como se puede observar en esta representación, para el caso del peso e se tienen tres opciones: (1) que esté en reposo, (2) moviéndose hacia arriba o (3) moviéndose hacia abajo. En efecto, esto sucederá toda vez que e tenga el mismo peso que o para el primer caso; que e sea menos pesado que o para el segundo caso y, que e sea más pesado que o para el tercer caso. El punto aquí, es que la balanza representa el movimiento hacia arriba y hacia abajo debido al peso, pero de una forma diferente: el movimiento hacia arriba de e se produce a causa del peso de o y, el movimiento de e hacia abajo se produce a causa de su propio peso (Galilei, *De Motu*, capítulo 6).

Como lo sostiene Machamer (1998), esta geometría proporcional permite pensar en términos de movimiento relativo (o en relación con), porque sólo cuando un peso es más pesado que otro la balanza se mueve. Cuando las fuerzas son iguales no hay movimiento observable, aunque hay una fuerza que actúa. Sin embargo, aquí se identifica un problema: el equilibrio exigía subjetividad. Cualquier persona podría mirar la balanza y juzgar, pero esto era insuficiente dado que la objetividad era necesaria. La pregunta se enfoca en un problema de equilibrio: ¿Cuál es la causa de (o la fuerza que causa) que algo se desequilibre? ¿Qué fuerza hará que vuelva a estar en equilibrio? ¿Dónde está el punto de equilibrio? Aquí cobran importancia los diagramas geométricos puesto que para abordar estos problemas, Galileo empleaba líneas, ángulos inscritos, circunscritos o tangentes a los círculos. Según Machamer (1998) éstos literalmente describían un verdadero equilibrio, pero también le permitían usar las reglas de la geometría para las construcciones que iban más allá de estos problemas, por ejemplo, la parábola como la curva que describe los proyectiles.

Accordingly in the case of weight e three things can happen: either it is at rest, or it is moved upward, or it is moved downward. (*De Motu*, Capítulo 6)

“Mis opiniones se contradecían sin el menor aprecio por el hecho de que lo que había expuesto estaba apoyado y probado por demostraciones geométricas; y tal es la fuerza de la pasión de los hombres que no se dieron cuenta de cómo la contradicción de la geometría es una franca negación de la verdad”. (p. 1)

Según lo anterior, la geometría puede cumplir dos roles, a saber, servir como método de investigación y de demostración porque resuelve problemas y además prueba las causas de los fenómenos físicos. Aquí se empieza a configurar una forma de comprensión de los fenómenos naturales basada tanto en el discurso teórico como en la experimentación. Precisamente, como lo propone Machamer (1998), la inteligibilidad o tener una verdadera explicación para Galileo, consistía en incluir un modelo mecánico o representación del fenómeno, porque replicando o reproduciendo los efectos mediante la construcción de un artefacto, se lograría llegar a la verdadera causa en tanto los efectos se hacían visibles.

En el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo* (1632 [1994]) Galileo defiende las ideas del sistema copernicano y pone en discusión el ptolemaico. Allí se encuentra una argumentación teórica que, junto con las evidencias empíricas proporcionadas por las observaciones con el telescopio, enriquecerían la teoría de Copérnico. Según esto, es importante considerar la importancia de la relación entre la observación, la experimentación y las matemáticas, dado que con esta última se extraen conclusiones respecto de la naturaleza. Esta relación es subsidiaria de la polémica sobre las prácticas de los matemáticos en el contexto de la *Quaestio de Certitudine Mathematicarum*, donde uno de los postulados era el vínculo entre las matemáticas y la experiencia, siendo esta última subordinada a aquella.

Así las cosas, hay una correlación entre las matemáticas y la experiencia, en la cual el discurso matemático se puede representar gráficamente o mediante el funcionamiento de un artefacto. De esta manera, con el testimonio sensible, que ya de por sí comporta una mirada matemática, se pueden identificar ciertos accidentes y regularidades. Al respecto Salviati en el *Diálogo* (1994) sostiene:

[...] afirmo que en nuestro siglo disponemos de accidentes y observaciones nuevas y de tal carácter, que no dudo que si Aristóteles viviese hoy cambiaría de opinión. Lo que se deduce claramente de su propio modo de filosofar. Puesto que, cuando escribe que cree que los cielos son inalterables, etc., porque no se ha visto generar ninguna cosa nueva o disolverse las antiguas, implícitamente nos está dando a entender que si hubiese visto uno de estos accidentes, habría opinado lo contrario y antepuesto, como conviene, la experiencia sensible al razonamiento natural [...] estoy seguro de que primero procuró asegurarse cuanto fuera posible de las conclusiones mediante los sentidos, las experiencias y las observaciones, y que después trató de buscar los medios para poder demostrarla, porque así se hace usualmente en las ciencias demostrativas. [...] Y la certeza de la conclusión ayuda no poco a encontrar la demostración, refiriéndonos siempre a las ciencias demostrativas. (p. 47)

Este planteamiento resulta importante dado que Galileo le atribuye especial relevancia a la observación, pero toda vez que ésta esté acompañada de un razonamiento sobre lo observado: un razonamiento matemático. De hecho, en la segunda jornada de los *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias* (1638) también se concede importancia al razonamiento matemático en la investigación de los fenómenos naturales:

Sagredo: ¿No conviene confesar que la geometría es el más poderoso de todos los instrumentos, para aguzar el ingenio y disponerlo a discurrir y especular correctamente? ¿No era razonable que Platón quisiera que sus discípulos estuvieran de antemano bien instruidos en matemáticas? Yo había comprendido perfectamente la dificultad de la palanca, y cómo aumentando o disminuyendo su longitud, aumentaba o disminuía el momento de su fuerza y de su resistencia; con todo, en la determinación del presente problema no era pequeño, sino grande, mi engaño

Simplicio: Verdaderamente comienzo a comprender que la lógica, aunque instrumento prestantísimo para regular nuestro modo de discurrir, no alcanza a la agudeza de la geometría, en cuanto a incitar nuestra mente a la investigación.

Sagredo: A mí me parece que la lógica enseña a conocer si los raciocinios y demostraciones ya hechos y hallados proceden concluyentemente, pero que ella nos enseñe a descubrir los raciocinios y las demostraciones concluyentes, esto no lo puedo creer. (Galilei, 2003, pp. 186–187)

Como se puede notar, la geometría aparte de desempeñar un papel fundamental en el proceso investigativo, se ve acompañada del razonamiento lógico con el fin de corregir los procesos demostrativos. Sin embargo, el énfasis que además se debe hacer sobre el uso de las matemáticas en Galileo es su relación con la experiencia y el experimento. Es decir, el punto que debe ser comprendido es que la evidencia proporcionada por los experimentos se da junto con la certeza de las demostraciones matemáticas.

Ahora bien, ¿Hay un cambio en las matemáticas de Galileo? ¿Las matemáticas por parte de Galileo se deben entender sólo en el sentido de cálculos y demostraciones geométricas? ¿Hay un cambio en la situación institucional y social de los profesionales en matemáticas y de la práctica de éstas en el siglo XVI? ¿Es esto importante para comprender correctamente la posición desde la cual Galileo estaba trabajando y escribiendo?

Como bien lo plantea Bertoloni-Meli (2006) una de las formas de comprender la relación entre las matemáticas y la filosofía natural es haciendo énfasis en la manipulación intelectual y material de herramientas como la balanza, el plano inclinado y el péndulo. Para Bertoloni-Meli, las nuevas disciplinas matemáticas y sus principios se pueden abordar estudiando el manejo matemático, experimental y conceptual de los objetos. No obstante, en lugar de considerar nuevas disciplinas matemáticas, optaré por proponer una redefinición sociocognitiva de las prácticas matemáticas que puede ser abordada apuntando a los usos matemáticos y prácticos de los objetos.

Mediante la introducción de algunos puntos de vista filosóficos y sociológicos sobre la relación entre las matemáticas, la experiencia y el experimento en el contexto galileano, trataré de rastrear una ciencia matemática en su propio contexto. Esto quiere decir que parto de la hipótesis según la cual, sí hay una redefinición de las prácticas matemáticas porque éstas no tienen un componente estático, sino que las prácticas redefinen las nociones que

ellas comportan. Las matemáticas le sirven a la filosofía natural, se redefinen no sólo las prácticas, sino que se redefinen epistemológicamente como el estudio de las matemáticas en la filosofía natural, entendida ésta como el análisis del movimiento y sus causas. Aquí entra la rivalidad entre matemáticos y filósofos naturales. Cuando se redefine la práctica de las matemáticas se redefine epistemológicamente el alcance de la filosofía natural. Así las cosas, el estudio del movimiento es lo matematizable.

Prácticas y objetos

Las prácticas, como lo sostienen Martínez y Huang (2011), son una unidad de análisis con un rango de aplicación más amplio porque nos permite atender a algo más que normas formalmente expresables en la relación sobre evidencia y teoría. Efectivamente, un estudio centrado en las prácticas podría dar cuenta de la racionalidad científica, toda vez que no se enfoca sólo en la teoría sino en el conjunto de normas que estructuran las prácticas, por ejemplo, el manejo y desarrollo de aparatos y sistemas de representación. Éstos están constituidos por factores psicológicos, históricos y sociológicos con los que se reconocen características de la ciencia como su dinámica histórica y la institucionalidad. A continuación expondré una de las formas de abordar mi hipótesis sobre la redefinición de las matemáticas, a saber, apuntando a los usos matemáticos y prácticos de los objetos en el contexto galileano.

En el caso de la fuerza de percusión, cuando un cuerpo cae desde una altura mayor adquiere una mayor velocidad y produce una depresión significativa sobre la superficie de un objeto. En consecuencia, la continuidad del espacio garantiza la continuidad de la velocidad medida por las depresiones producidas (Bertoloni-Meli, 2006). Así lo señala Galileo (2003):

“[...] Posa tú un cuerpo sobre materia blanda, dejándolo hasta que oprima cuanto le sea posible con su simple y sola gravedad; es evidente que levantándolo un codo o dos, y dejándolo caer después sobre la misma materia, hará con el choque, una nueva presión mayor que la primera, hecha con el solo peso; el efecto estará ocasionado por el móvil que cae, al caer junto con la velocidad adquirida en la caída; efecto que será cada vez más grande, a medida

que la altura de donde procede el choque sea mayor, o sea que a medida que la velocidad del cuerpo que choca sea más grande. Por consiguiente, nosotros podemos, sin error, deducir de la calidad y cantidad del choque, la cantidad de velocidad de un grave en caída. Pero decidme, amigos: el mazo que dejado caer sobre una estaca, desde una altura de cuatro codos, la hinca en tierra, digamos cuatro dedos, si viniera de una altura de dos codos la clavaría mucho menos, y menos todavía si viniera de la altura de un codo, y menos todavía si viniera de la altura de un palmo; y finalmente, levantándolo un solo dedo, ¿qué más hará que sí, sin percusión, lo hubiésemos hecho descansar sobre ella? Ciertamente muy poco más. Y sería operación del todo imperceptible, si lo elevásemos tan solo al grueso de una hoja. Y dado que el efecto de la percusión depende la velocidad del mismo percuciente, ¿quién podrá dudar que es muy lento el movimiento, y más que insignificante la velocidad, cuando su efecto es imperceptible? (pp. 224-225)

Galileo aquí se refiere a la percusión y establece una relación con el estudio del movimiento. Allí establece una proporción entre la altura de la caída y el efecto de la percusión. De esta manera, se puede concluir que la altura de caída es proporcional a la velocidad. De hecho, Galileo afirmó que la velocidad de un cuerpo que cae se puede determinar por la percusión que produce (Drake, 1978). Esta idea se encuentra en la carta que Galileo le escribe a Paolo Sarpi en 1604:²⁷

Reflexionando acerca de los problemas del movimiento, para los cuales, y con el fin de demostrar los accidentes observados por mí, me faltaba totalmente un principio indubitable que pudiese poner como axioma, he llegado a una proposición que tiene mucho de natural y evidente; y supuesta ésta, demuestro después el resto, particularmente que los espacios atravesados por el movimiento natural están en proporción doble del tiempo, y por consiguiente los espacios atravesados en tiempos iguales son como los números impares *ab*

²⁷ Utilizo la versión en italiano que se encuentra en: *Le Opere di Galileo Galilei*, Edizione Nazionale Sotto Gli Auspicii Di Sua Maestà Il Re D'Italia, Volumen X, Firenze, Tipografía di G. Barbéra, (1900). Disponible en la biblioteca digital de la Biblioteca Nacional de Francia.

unitate y las otras cosas. Y el principio es éste: que el móvil natural va aumentando de velocidad en la misma proporción en que se aleja de su punto de partida; verbi gratia, si un grave cae del punto *a* por la línea *abcd*, supongo que el grado de velocidad que tiene en *c* es al grado de velocidad que tenía en *b* como la distancia *ca* es a la distancia *ba*, y así, por consiguiente, tendrá en *d* un grado de velocidad mayor que en *c* en la medida en que la distancia *da* es mayor que la distancia *ca*. (Carta a Sarpi, 16 ottobre 1604, Opere, [1900], Vol. X, p. 115)²⁸



Figura 4

Tomado de: (Carta a Sarpi, 1604, Opere, Vol. X, p. 115)

Como se puede observar, Galileo afirmó que un cuerpo que cae a través de *ad* tiene en cada punto un grado de velocidad proporcional a la distancia recorrida, *ab* en *b*, *ac* en *c*, y *ad* en *d*. Es decir, la velocidad va aumentando proporcionalmente a la distancia recorrida desde el reposo. Aquí, el aumento de velocidad se vuelve una característica central de la caída de los cuerpos, ya no es un fenómeno accidental como en el *de motu* sino un fenómeno distintivo

²⁸ Ripensando circa le cose del moto, nelle quali, per dimostrare li accidenti da me osservati, mi mancava principio totalmente indubitabile da poter porlo per assioma, mi son ridotto ad una proposizione la quale ha molto del naturale et dell'evidente; et questa supposita dimostre poi il resto, cioè gli spazii passati dal moto naturale esser in proporzione doppia dei tempi, et per conseguenza gli spazii passati in tempi eguali esser come i numeri impari *ab unitate*, o le altre cose. Et il principio è questo: che il mobile naturale vadia crescendo di velocità con quella proportione che si discosta dal principio del suo moto; come v. g. cadendo il grave dal termine *a* per la linea *abcd*, suppongo che il grado di velocità che ha in *c* al grado di velocità che hebbe in *b* esser come la distanza *ca* alla distanza *ba*, et cosi conseguentemente in *d* haver grado di velocità maggiore che in *c* seconda che la distanza *da* è maggiore della *ca*. (Carta a Sarpi, 1604, Opere, Vol. X, p. 115)

que permite comprender y definir la caída libre (Romo, 1985). Adicionalmente, uno de los aspectos importantes de esta carta es la formulación –errónea– de la caída de los cuerpos, un principio “natural y evidente” como lo menciona Galileo. En la carta a Sarpi, Galileo sostiene que ya conoce los accidentes de ese movimiento natural: a) “los espacios atravesados por el movimiento natural están en proporción doble del tiempo” y b) “los espacios atravesados en tiempos iguales son como los números impares *ab unitate*”. De esta manera, el principio propuesto para demostrar los accidentes es: “que el móvil natural va aumentando de velocidad en la misma proporción en que se aleja de su punto de partida”.

Ahora bien, si en la carta a Sarpi el principio aparece como natural y evidente, en el folio 128r²⁹ del volumen 72 de los manuscritos galileanos, que además ha sido ubicado en el mismo año de la carta a Sarpi, se ofrece una demostración sobre la ley de caída con el principio erróneo mediante una justificación empírica. A continuación señalaré el principio que se corresponde con el de la carta a Sarpi y su justificación:

1

Io suppongo (et forse potrò dimostrarlo) che il grave cadente naturalmente vada continuamente accrescendo la sua velocità secondo che accresce la distanza dal termine onde si partì [...]

Traducción:

Supongo (y tal vez pueda demostrarlo) que el grave que cae naturalmente va aumentando continuamente su velocidad a medida que aumenta la distancia al punto desde donde partió.

2

Questo principio mi par molto naturale, et che risponda a tutte le esperienze che veggiamo negli strumenti et machine che operano percotendo, dove il percuziente fa tanto maggiore effetto quanto da più grande altezza casca [...]

Traducción:

Este principio me parece muy natural, y que corresponde a todas las experiencias que vemos en los instrumentos y máquinas que obran por percusión, en los que el percutor hace un mayor efecto, cuando cae de una mayor altura.

²⁹ El folio 128r de Galileo (1604) se encuentra disponible en: Biblioteca Nazionale Centrale y el Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze.

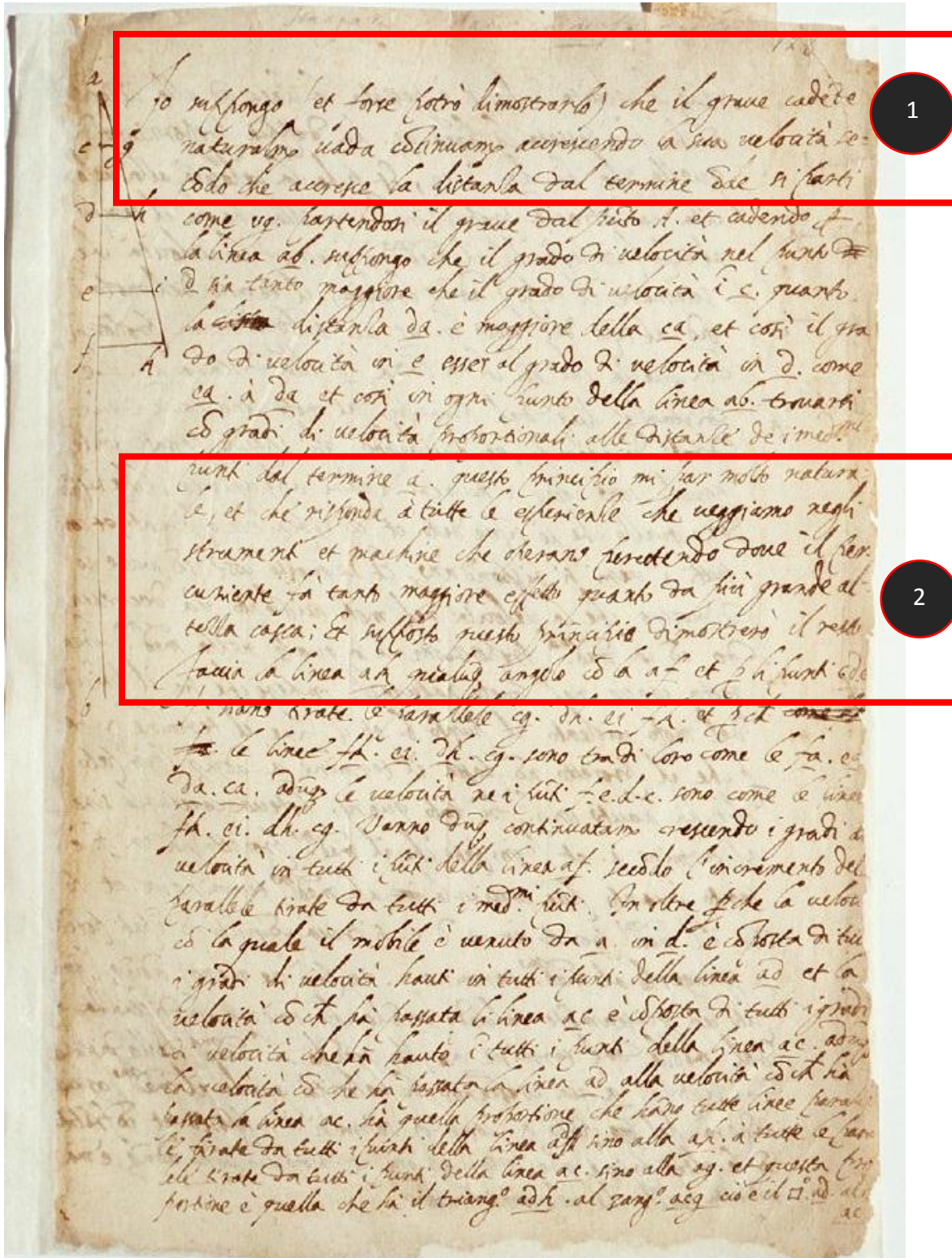


Figura 5
 Folio 128r

Disponibile en: Biblioteca Nazionale Centrale/Istituto e Museo di Storia della Scienza,
 Firenze.

Es claro que el principio propuesto es incorrecto porque la velocidad no aumenta según la distancia sino con el tiempo transcurrido. Sin embargo, la justificación empírica que ofrece Galileo estriba en el efecto del choque, el cual puede ser comprendido mediante la velocidad final del cuerpo, precisamente porque considera que el efecto o el impacto de la percusión será mayor toda vez que la altura de donde procede también lo sea. Aquí es donde se halla la relación entre velocidad y altura. El punto es que Galileo la considera como una proporcionalidad lineal $v \propto h$ y no respecto de la raíz cuadrada de la altura $v \propto \sqrt{h}$ como lo señala Romo (1985).

Independientemente de la verdad o falsedad de los principios, lo que me interesa señalar es que la formulación de Galileo sobre la ley de la caída es mucho más compleja que su presentación en los *Discorsi (Diálogos)* de 1638. No se trata de un proceso lineal y exitoso, sino de diversas situaciones que involucran obstáculos, errores y transformaciones. Precisamente los folios y las cartas exhiben periodos de transición así como los obstáculos y dificultades. Efectivamente, en la carta a Sarpi y en el folio 128r Galileo utiliza el principio incorrecto donde la velocidad va aumentando proporcionalmente a la distancia recorrida desde el reposo:

$$v \propto s$$

No obstante, en la carta a Belisario Vinta escrita el 7 de mayo de 1610, en la carta de Daniello Antonini del 9 de abril de 1611 y en los folios 152r y 107v, ya se puede rastrear el principio correcto, y nótese que es mucho antes de la publicación de los *Discorsi* en 1638. A continuación voy a mostrar estos cuatro momentos. Aunque el folio 152r ha sido fechado para el periodo 1603-1604, es decir, antes de la carta a Belisario Vinta, de la carta a Sarpi, de la carta de Antonini y del folio 128r, lo abordaré al final junto con el folio 107v debido a su carácter historiográfico problemático, en particular me remitiré a las cuestionadas tesis de Stillman Drake quien fue el que descubrió estos folios.

En la carta a Belisario Vinta escrita el 7 de mayo de 1610,³⁰ se puede observar que Galileo ya conocía el principio correcto en tanto menciona la publicación del *De motu locali*

³⁰ Utilizo la versión en italiano que se encuentra en: Le Opere di Galileo Galilei, Edizione Nazionale Sotto Gli Auspicii Di Sua Maestà Il Re D'Italia, Volumen X, Firenze, Tipografia di G. Barbéra, (1900). Disponible en la biblioteca digital de la Biblioteca Nacional de Francia

donde se encuentra la definición correcta del movimiento uniformemente acelerado. Galileo en esta carta sostiene:

Las obras que tengo para finalizar son principalmente dos libros *De sistemate seu constitutione universi*, tema inmenso y lleno de filosofía, astronomía y geometría: tres libros *De motu locali*, ciencia totalmente nueva, en la que nadie, ni antiguo ni moderno, ha descubierto alguna de las leyes más notables que demuestro que existen tanto en el movimiento natural como en el violento: de ahí que pueda llamarlo razonablemente una ciencia nueva y descubierta por mí desde sus primeros principios. (Carta a Belisario Vinta, 1610, Opere, Vol. X, pp. 351-352)³¹

En efecto, Galileo durante los años 1602 y 1609 trabajó en los teoremas sobre el isocronismo del péndulo y sobre la caída de los cuerpos y sus problemas, los cuales como lo plantea Crombie (1990), debían fundar su nueva cinemática y dinámica que se publicaría en el tratado *De motu locali* en el *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (1638). En la obra referenciada en la carta a Belisario Vinta, Galileo plantea:

Se ha fijado la atención en algunas [propiedades] que son de poca importancia, como por ejemplo, que el movimiento natural [libre] de los graves en descenso se acelera continuamente; sin embargo, no se ha hallado hasta ahora en qué proporción se lleve a cabo esta aceleración; pues nadie, que yo sepa, ha demostrado que los espacios, que un móvil en caída y a partir del reposo recorre en tiempos iguales, retienen entre sí la misma razón que tiene la sucesión de los números impares a partir de la unidad. [...] Yo demostraré que esto es así, y también otras cosas muy dignas de saberse; y, lo que es de mayor importancia, dejaré expeditos la puerta y el acceso hacia una vastísima prestantísima ciencia, cuyos fundamentos serán estas mismas investigaciones,

³¹ Le opere che ho da condurre a fine sono principalmente 2 libri *De sistemate seu constitutione universi*, concetto immenso et pieno di Filosofia, astronomia et geometria: tre libri *De motu locali*, scienza interamente nuova, non avendo alcun altro, nè antico nè moderno, scoperto alcuno de i moltissimi sintomi ammirandi che io dimostro essere ne i movimenti naturali et ne i violenti, onde io la posso ragionevolissimamente chiamare scienza nuova e ritrovata da me sin da i suoi primi principi (Carta a Belisario Vinta, 1610, Opere, Vol. X, pp. 351-352).

y en la cual, ingenios más agudos que el mío, podrán alcanzar mayor profundidades. [...] Entiendo por movimiento uniforme aquel cuyos espacios, recorridos por un móvil en cualesquiera (quibuscunque) tiempos iguales, son entre sí iguales. (Galilei, 2003, pp. 213-214)

Y a partir de la definición correcta sobre el movimiento uniforme, Galileo pasa a considerar el movimiento naturalmente acelerado: “Llamo movimiento igualmente o uniformemente acelerado aquel que, a partir del reposo, va adquiriendo incrementos iguales de velocidad durante intervalos iguales de tiempo” (Galilei, 2003, p. 223).

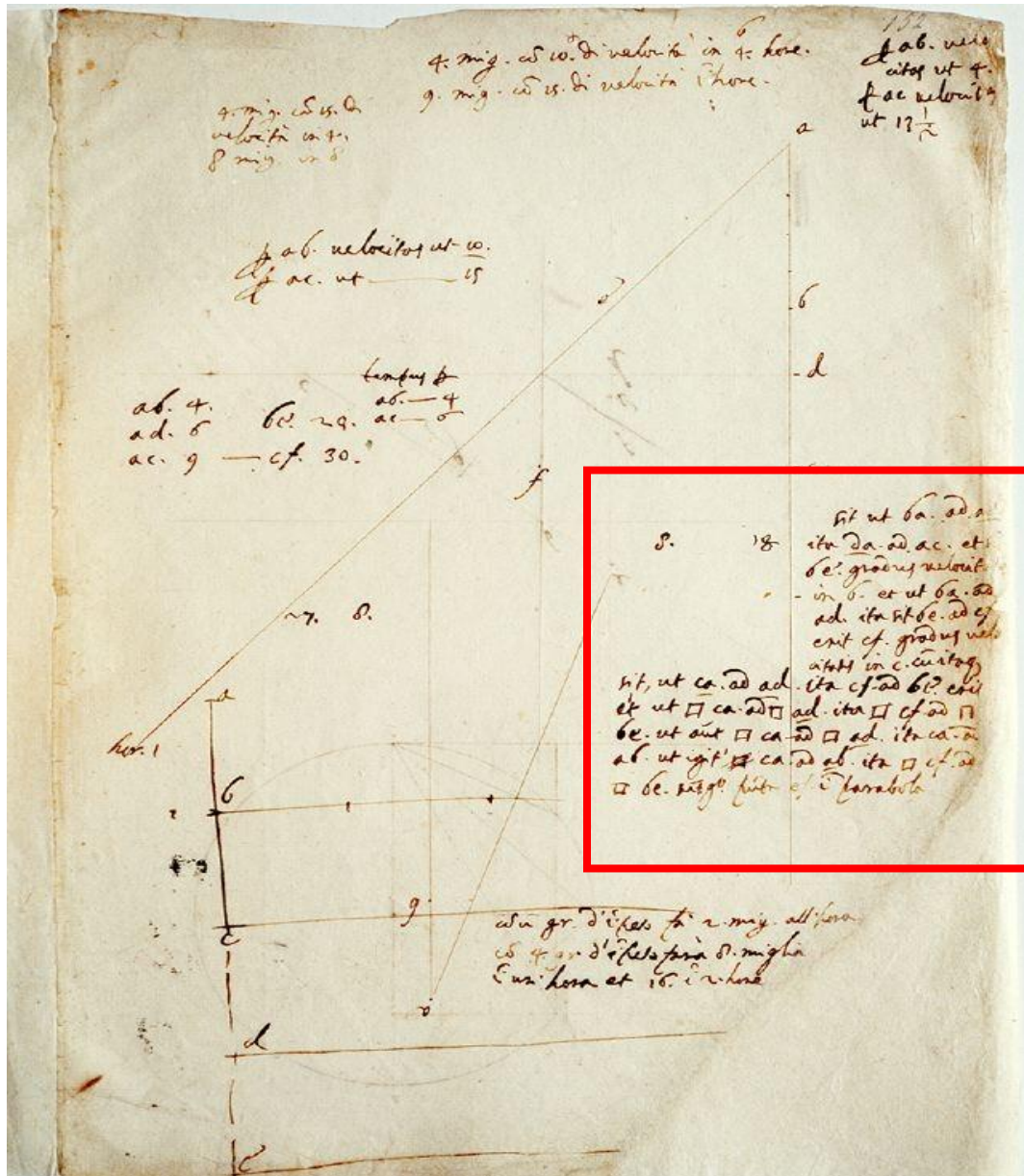
La obra a la que se refiere Galileo en la carta a Belisario Vinta es precisamente los *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, donde Galileo expone su ciencia del movimiento que como se ha caracterizado en la tradición historiográfica, aparece en 1638 en su estado de madurez más alto. En particular, en el *De motu locali* que se encuentra en la tercera y cuarta jornada, Galileo propone con base en el *De motu aequabili* (movimiento uniforme), *De motu naturaliter accelerato* (movimiento naturalmente acelerado) y el *De motu proiectorum* (movimiento de los proyectiles) un trabajo detallado sobre la ley de la caída con el principio correcto.

En la carta del 9 de abril de 1611 donde Daniello Antonini³² analiza una proposición de Galileo, se puede observar que este último ya conocía el principio correcto mucho antes de la publicación del *Discorsi* en 1638, ya que en la carta se menciona el principio con el que Galileo rectifica su formulación inicial: “He pensado algún tiempo en su proposición: un cuerpo que se mueve desde el reposo, aumentando su velocidad en proporción a sus distancias recorridas, debe ser movido instantáneamente”.³³ Como lo sostiene Drake (1978) aunque la cita se encuentra en latín, esa proposición no se encuentra en los manuscritos de Galileo pero sí es el punto dominante para la refutación del principio erróneo en los *Discorsi*.

³² Utilizo la versión en italiano que se encuentra en: Le Opere di Galileo Galilei, Edizione Nazionale Sotto Gli Auspicii Di Sua Maestà Il Re D'Italia, Volumen X, Firenze, Tipografia di G. Barbéra, (1901). Disponible en la biblioteca digital de la Biblioteca Nacional de Francia

³³ Ho pensato alcuna volta a quella sua propositione: *Mobile secundum proportionem distantie, a termino a quo movetur velocitatem acquirens, in instanti movetur* (Carta de Antonini a Galileo, 1611, Opere, Vol. XI, p.85).

En el folio 152r³⁴ Galileo (1603/1604) utiliza una relación de proporción entre la velocidad adquirida en caída libre y la raíz cuadrada del espacio recorrido.



1 3
Figura 6
Folio 152r

Disponibile en: Biblioteca Nazionale Centrale/Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze.

³⁴ El folio 152r de Galileo ha sido ubicado en el periodo de 1603-1604. Se encuentra disponible en: Biblioteca Nazionale Centrale y en el Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze.

Uno de los argumentos más importantes de este folio es el siguiente:

3

Sit ut ba ad ad, ita da ad ac, et sit be gradus velocitatis in b, et ut ba ad ad, ita sit be ad cf; erit cf gradus velocitatis in c. Cum itaque sit ut ca ad ad, ita cf ad be, erit etiam ut [quadratum] ca ad [quadratum] ad, ita [quadratum] cf ad [quadratum] be: ut autem [quadratum] ca ad [quadratum] ad, ita ca ad ab; ut igitur ca ad ab, ita [quadratum] cf ad [quadratum] be: sunt ergo pun[c]ta e, f in parabola.

Traducción:

Como BA es a AD, sea DA a AC, y sea BE el grado de velocidad en B, y como BA es a AD sea BE a CF; CF será el grado de velocidad en C. Y como CA es a AD así es CF a BE, entonces como el [cuadrado] de AC es al [cuadrado] de AD, así será el [cuadrado] de CF al [cuadrado] de BE: adicionalmente, como el [cuadrado] de CA es al [cuadrado] de AD, así es CA a AB; el [cuadrado] de CF será al cuadrado de BE como CA es a AB: ergo los puntos E y F están en una parábola.

El punto central de este argumento es que BE y CF representan los grados de velocidad en B y C. Aquí Galileo sostiene que $\frac{BE}{CF} = \frac{BA}{AD}$ y CF será el grado de velocidad en C. Según Romo (1985), si se utiliza notación moderna entonces V_1 y V_2 serán los grados de velocidad en B y C, y S_1 y S_2 serán las distancias AB y AC. Para este caso, $\frac{BE}{CF} = \frac{BA}{AD}$ será $\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{S_1}{S_2}}$. Así las cosas, es claro que Galileo en este folio afirma que en la caída libre se da

$$v \propto \sqrt{s}$$

y no lo que propuso en la carta a Sarpi:

$$v \propto s$$

De esta manera, Galileo deriva $v^2 \propto S$ a partir de $v \propto \sqrt{S}$. Si esto se relaciona con $S \propto t^2$ que es el principio correcto de la ley de caída de los cuerpos, entonces se obtiene la formulación correcta del movimiento acelerado que aparece en 1638: $v \propto t$

Según Drake (1975) cuando Galileo le escribe a Sarpi en 1604, no consideró las velocidades adquiridas como cuadradas, sino que asumió la cuadratura como parte del significado de la palabra *velocita*. Así, propuso que la *velocita* era proporcional al espacio recorrido desde el reposo, y la justificación empírica fue que en los instrumentos de percusión el efecto es mayor (doble) al caer de una altura mayor (doble). Por el contrario, en el folio 152r el grado de velocidad no es mayor (doble) después de que el objeto haya recorrido una distancia doble, sino que está en relación $\sqrt{2}:1$. En conclusión, el significado físico otorgado a grados de velocidad es distinto tanto en el folio 152r como en la carta a Sarpi, y esto resuelve parcialmente una de las primeras preguntas: si Galileo ya conoce el principio correcto –folio 152r– ¿por qué utiliza la formulación errónea en el folio 128r y en la carta a Sarpi? Al respecto, se puede agregar el argumento de Drake (1975): se trata de “un dispositivo matemático arbitrario –esta vez, el de la cuadratura– permitió a Galileo simplificar su procedimiento adoptando una nueva definición” (p. 141).

De otro lado, el folio 107v³⁵ que fue descubierto después del folio 152r ha orientado la discusión hacia el papel del experimento en la construcción de la ley de la caída $S \propto t^2$. La importancia historiográfica de este folio estriba en la afirmación de Drake (1975b), quien cuando lo descubrió sostuvo que la formulación de la ley de la caída no es matemática sino experimental, siendo el plano inclinado el recurso utilizado por Galileo para el descubrimiento de la ley.

³⁵ El folio 107v Galileo ha sido ubicado en el periodo de 1603-1604. Se encuentra disponible en: Biblioteca Nazionale Centrale; Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze.

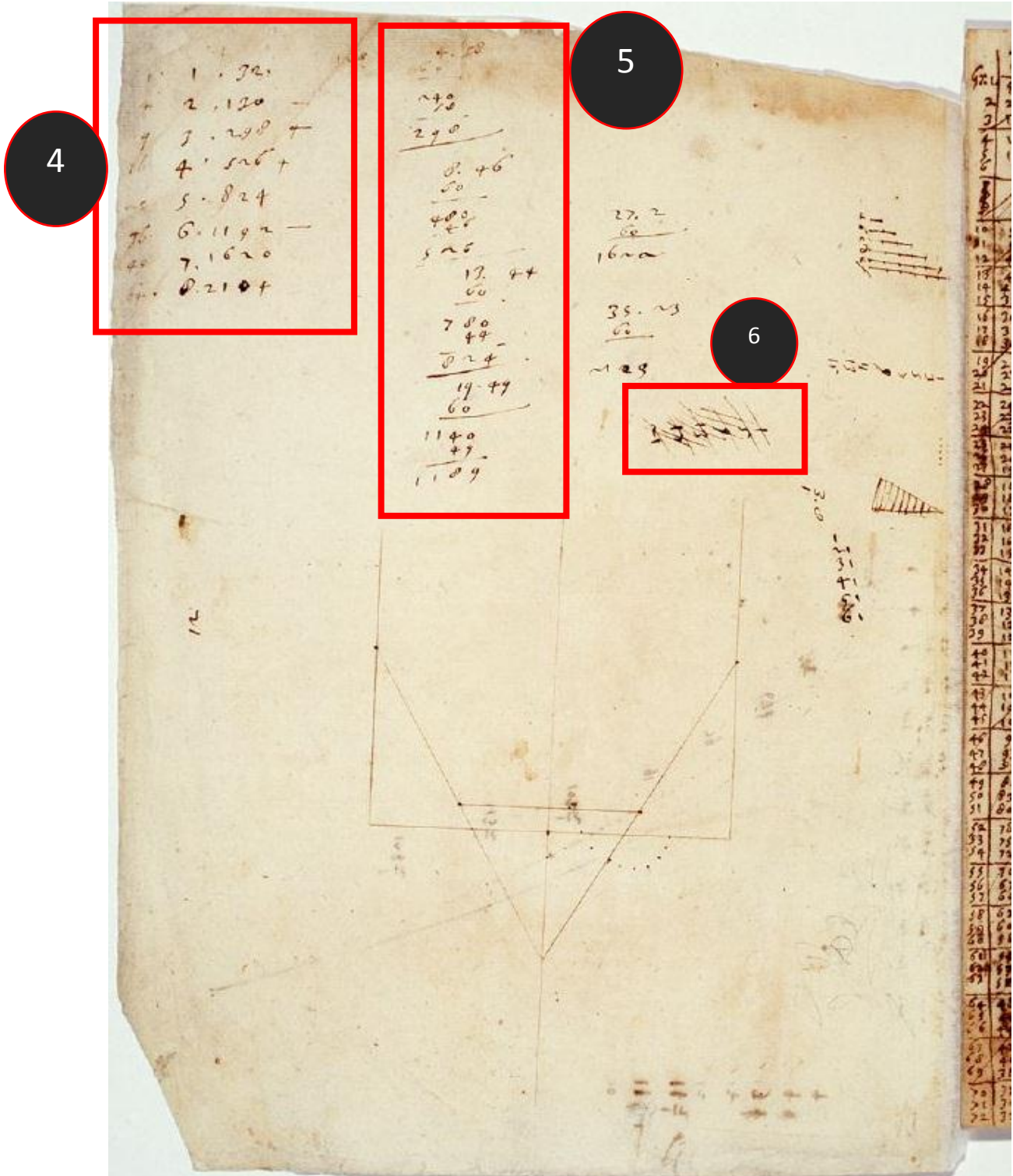


Figura 7
Folio 107v

Disponibile en: Biblioteca Nazionale Centrale/Istituto e Museo di Storia della Scienza,
Firenze.

El folio 107v contiene en su parte superior izquierda los siguientes números que agrupo en esta tabla:

1	1	33
4	2	130-
9	3	298+
16	4	526+
25	5	824
36	6	1192-
49	7	1620
64	8	2104

La tercera columna representa los valores de las distancias que recorre una bola por un plano inclinado y con un movimiento uniforme acelerado en 8 unidades de tiempo contadas desde el reposo. Estos números se obtienen del cálculo que Galileo realizó en la parte central del folio:

Lo que realiza Galileo en **5** es multiplicar un número entero por 60 y luego añadir un número menor que 60. Drake (1975b) sostiene que esto se debe a que probablemente midió las distancias con una regla dividida en 60 partes iguales. En **4** la primera columna que se encuentra en negrita se debe a que es una anotación con lápiz realizada después de los datos escritos en la tercera columna, y representa la regla correcta 1, 4, 9, 16...64 sobre el crecimiento de las distancias medidas. En **6** se observa lo que podría ser una primera conjetura (1, 5, 9, 13, 17, 21) sobre dicha regla, la cual indica que Galileo aún no contaba con la ley de caída libre.

4.	58
<u>60</u>	
240	
<u>58</u>	
298	
8.	46
<u>60</u>	
480	
<u>46</u>	
526	
13.	44
<u>60</u>	
780	
<u>44</u>	
824	
19.	49
<u>60</u>	
1140	
<u>49</u>	
1189	

Teniendo en cuenta los anteriores datos del folio 107v, Drake pasa a realizar la reconstrucción del experimento. Para establecer los intervalos de tiempo se cantó “Onward, Christian Soldiers” a un tempo de dos notas por segundo. Establecido el tempo se procedió a soltar la bola en una nota, se marcó con una tiza su posición sobre el plano coincidiendo con otras notas a intervalos de 0.5 segundos (cuando la bola ha hecho más o menos 4 recorridos por la longitud del plano se tendrán 8 posiciones). En cada marca de tiza se puso una banda de goma alrededor del plano (esto es similar a los trastes del mástil de una guitarra). Las posiciones de las bandas se ajustaron de modo que el sonido del golpe de la bola al pasar por

cada banda fuera exactamente en una nota de la marcha. Finalmente, se midieron las distancias desde la posición inicial de la bola (reposo) hasta cada una de la bandas. Se encontró que las proporciones de los intervalos sucesivos coincidían con los números registrados por Galileo en la tercera columna del folio 107v (Drake, 1975b).

Así las cosas, este experimento señala que las distancias desde el reposo están relacionadas con el cuadrado del tiempo. Es decir, en el folio 107v Galileo ha encontrado la regla de la raíz cuadrada de las velocidades. Como en este experimento los tiempos individuales eran iguales, las velocidades sucesivas deben ser proporcionales a las distancias sucesivas que pasaron. Y dado que las distancias totales desde el reposo aumentan como los números cuadrados, las distancias parciales sucesivas deben aumentar como los números impares, de ahí la anotación que realiza Galileo en la parte derecha del folio (Drake, 1975b).

Una de las principales características de este folio es que pone en tensión la postura, según la cual, los experimentos se realizan para probar una regla preconcebida, no para buscar una regla a partir de las mediciones. De esta manera, el problema es saber si el experimento posibilitó el descubrimiento de la ley o se trata, como usualmente es asumida la experimentación, de la confirmación de la ley (Romo, 1985). En este punto es importante recordar que el rol del experimento no se reduce a la corroboración de teorías. El experimento puede ser de carácter exploratorio y propiciar el descubrimiento de fenómenos o regularidades, puede ayudar a demostrar la existencia de postulados teóricos, corrige y modifica la estructura matemática de las teorías y, por supuesto, se puede diseñar con el fin de confirmar una teoría. El aspecto central es que el experimento también puede producir conocimiento al mismo nivel que lo hace la teoría. Esta última es la línea historiográfica que asume Drake con la información del folio porque rechaza que la formulación de la ley de la caída haya sido mediante un razonamiento matemático, en su lugar, propone que se llegó a tal ley mediante el experimento caracterizado. Lo que es claro por la datación de los folios es que tanto la formulación como la construcción de la ley de la caída tuvo lugar antes de 1638, por ello pretender comprender toda su complejidad apelando estrictamente al resultado final presentado en los *Discorsi* no es posible.

El descubrimiento de los folios 152r, 107v y en general de los manuscritos sobre el movimiento, ha generado unos debates historiográficos de gran interés. Una de las críticas a Drake es que (1) no hay una evidencia clara sobre la fecha del folio 152r, por lo tanto, no es posible afirmar que Galileo antes de 1604 ya conocía el principio correcto. (2) Al final del folio 152r aparece el término *impeto* que no ha sido analizado con detalle dado que se le ha dado prioridad a la parte superior del folio. Esto puede sugerir otras interpretaciones si el criterio de ordenamiento cronológico se realiza con base en términos técnicos. (3) El análisis del folio 107v sugiere que el descubrimiento de la ley de la caída no es matemático como aparece en el folio 152r, sino mediante el experimento con el plano inclinado. De hecho, Drake en 1975 escribe su artículo *The rol of music in Galileo's experiments*, aquí cambia explícitamente la tesis que sostuvo con el folio 152r y pasa a defender la tesis del folio 107v. Ahora bien, (4) si se acepta esta última tesis, entonces el primer problema que se debe resolver es si el folio 107v es la confirmación experimental de una ley ya conocida o si es un experimento que propicia el descubrimiento de la ley.³⁶ Como lo plantea Romo (1985), el uso de los manuscritos implica cierta cautela con las hipótesis que se propongan sobre la reconstrucción de la ley de la caída y, además, cada interpretación depende de la concepción sobre la actividad científica que asuma el investigador. A mi modo de ver, los manuscritos y las cartas son una excelente fuente para mostrar la complejidad de la práctica científica y como ésta no depende exclusivamente de factores lógicos. Allí se evidencian estrategias, procesos creativos, errores y diversos usos de los conceptos. Además, la interpretación de los folios depende de la manera como el investigador comprenda la práctica científica.

En este sentido es que se puede hacer énfasis en la manipulación intelectual y material de las herramientas como el plano inclinado o la balanza y de los conceptos y su significado físico. Esto es importante porque Galileo conjuga el manejo matemático, experimental y conceptual de los objetos, lo que permite caracterizar una forma de matematización de la filosofía natural, atendiendo, como lo menciona Biagioli (2008) a las taxonomías sociales del estatus y la credibilidad. En el contexto galileano, las matemáticas tienen un estatus social y cognitivo menor en relación a la filosofía aristotélica dominante, como lo he mostrado en la

³⁶ Sobre este debate historiográfico se puede consultar: Hahn (2002); Naylor (1974, 1977, 1982); Wisan (1974, 1977).

primera sección de este texto, además porque se empleaban en la mecánica y en otros oficios de clase baja (Bertoloni-Meli, 2006; Biagioli, 2008; Salvia, 2014). El manejo matemático y experimental de los objetos es un tipo de práctica que le permite a Galileo a comprender las propiedades de los fenómenos naturales. La tensión que se encuentra aquí estriba en cómo se ha argumentado la matematización del movimiento. Dicha tensión aparece cuando el movimiento se prueba experimentalmente o se argumenta causalmente.

Como lo muestra Machamer (1998), la geometría utilizada por Galileo era la geometría de Arquímedes, una geometría comparativa y relacional, una cuestión de proporciones: “[...] las máquinas simples de Arquímedes y las experiencias relacionadas con ellas se convierten en un modelo para Galileo, tanto para la teoría como para el experimento” (p. 57). Esto quiere decir que el fenómeno es susceptible de una demostración matemática y una representación mecánica:

“La inteligibilidad o el tener una explicación verdadera para Galileo incluía tener un modelo mecánico o representación del fenómeno. En este sentido, Galileo añadió algo a los criterios tradicionales de descripción matemática (ciencias mixtas) y la observación (de la astronomía) para la construcción de objetos científicos (como dirían algunos) o por tener explicaciones adecuadas de los fenómenos observados (como diría yo)”. (Machamer, 1998, p. 69)

Para Galileo, una explicación tenía que tener experiencias adecuadas que demostraran que la causa explicativa es la verdadera y que funciona necesariamente. Estas experiencias se tenían por máquinas que duplicaban determinado fenómeno. Machamer (1998) sostiene que “uno ve la máquina o el fenómeno como un ejemplo de las matemáticas en el mundo. De esta manera se puede saber que son reales y no imaginarios” (p. 70). Esta idea de modelos mecánicos o experiencias reales o construidas, encaja con la tradición geométrica en la que para tener una demostración se debe construir una prueba. De este modo, se evidencia nuevamente la correlación entre la prueba geométrica y las experiencias con el fin de obtener una demostración en la mecánica. Esto es posible gracias a la inteligibilidad y la forma de entendimiento proporcionada por las máquinas simples de Arquímedes, especialmente la

balanza. Su concreción física así como su descriptibilidad matemática y poder manipularla físicamente que lleva a las posibilidades experimentales, dieron la inteligibilidad y la estructura de los conceptos abstractos de la imagen del mundo mecánico (Machamer, 1998, pp. 70-71).

El debate sobre los experimentos mentales o reales no afecta este planteamiento, de un lado, un experimento mental permite visualizar el modelo mecánico de determinada situación, por ejemplo las relaciones espaciales y temporales básicas para la comprensión científica. De otro lado, las situaciones observacionales –reales– permiten corroborar la validez del análisis físico. Lo relevante en este punto es que los experimentos ya sean reales o mentales, se configuren de acuerdo con los requisitos de las matemáticas (Shea, 1998, p. 239). Esta práctica es importante en el estudio del movimiento porque proporcionó el modelo de inteligibilidad y la prueba en la ciencia. Así las cosas, las matemáticas debían ser la disciplina que justificara el cambio hacia lo cuantitativo que gradualmente se incorporaba en la filosofía natural.

La matematización de la filosofía natural se convirtió en algo pensable para Galileo porque, como lo señala Van Dyck (2006), interpreta las relaciones causales como las relaciones, es decir, son expresables mediante relaciones constantes y esto es por lo que fácilmente se pueden integrar dentro de las demostraciones matemáticas. Asimismo, de particular importancia resulta la estabilidad empírica que se debe reflejar en el plano conceptual.

Es por ello que un modelo de inteligibilidad se hace necesario. Según Machamer (1998):

“El punto es que las experiencias son las experiencias, literalmente, de ver los objetos mecánicos, ópticos y astronómicos como los objetos idealizados de la geometría. Todas las experiencias implican ver las cosas como son en conformidad con su modelo de inteligibilidad”. (p. 65)

El modelo de inteligibilidad permite que las personas lleguen a un acuerdo porque muestra sólo las propiedades que son importantes. Es usualmente representable y su

presencia física permite que se realicen acciones sobre él. Las relaciones entre sus partes pueden ser descubiertas y construidas, puede experimentarse y observarse lo cual explica, además, porque se puede utilizar para formar a los estudiantes (Machamer, 1998; Machamer & Woody, 1994). Está constituido por reglas, acciones, usos, intereses y disputas, por una racionalidad práctica en la que se observa, en el contexto galileano, una filosofía natural matematizada: explicaciones matemáticas y manipulación de objetos que conducen a experimentos con el fin de lograr inteligibilidad y dar estructura a los “conceptos abstractos de la imagen mecánica del mundo” (Machamer, 1998). Evidentemente este modelo requiere mucho más que un debate epistemológico, si bien hay una redefinición epistemológica de las prácticas, éstas dependen de factores sociocognitivos de los filósofos naturales y sus disciplinas. Como lo plantea Biagioli (2008) las matemáticas se legitiman sociocognitivamente en tanto disciplina y las prácticas experimentales permiten ser concebidas no sólo como efectos sino también como causas del desarrollo de las instituciones científicas.

Perspectivas: la relación entre las matemáticas y la filosofía natural

Peter Machamer plantea que Galileo es un mecánico arquimediano por formación y temperamento, que trabaja en la tradición de las ciencias mixtas y tratando desesperadamente de avanzar intelectualmente, socialmente y económicamente mediante la búsqueda de legitimidad como filósofo. Este planteamiento también lo comparte Rivka Feldhay (1998), quien además sostiene que las matemáticas en su contexto no surgieron como un proyecto de investigación coherente sino como una estrategia necesaria para la creación de la coherencia de un proyecto cuyas conexiones internas aún no estaban claras. A mi modo de ver, este planteamiento es bastante importante porque el contexto cultural e intelectual en el que este propósito se gesta se encontraba en reconstrucción por parte de algunos matemáticos cuyo campo de investigación estaba en proceso de ser definido, hablo aquí específicamente de la *Quaestio de certitudine mathematicarum*.

La ciencia de Galileo surgió de las mismas raíces que el programa de los jesuitas y compartió gran parte de su espíritu con jesuitas matemáticos (Feldhay, 1998, p. 82). Es por

esta razón que Galileo debe usar la terminología escolástica y hacer frente a los problemas de la filosofía natural tradicional. Trata de aplicar sus intereses y puntos de vista mecánicos a las preguntas aristotélicas y peripatéticas de la filosofía natural, y hace todo lo posible por utilizar su modo aceptado de discurso filosófico (Machamer, 1998, p. 57).

La originalidad de Galileo se inscribe no en lo que encontró, sino en la forma como interpretó sus descubrimientos (Swerdlow, 1998, p. 244). Los estudios astronómicos de Galileo, recogidos en el *Diálogo sobre los dos grandes sistemas del mundo*, tienen un gran aporte: las observaciones hechas con el telescopio proporcionan evidencias empíricas que se formalizan matemáticamente. Así, una correcta comprensión del fenómeno requeriría de la adecuada combinación de física y principios matemáticos (Finocchiaro, 2010, p. 97).

A principios del siglo XVII hubo consenso en cuanto a que las ciencias matemáticas debían asumir a la filosofía natural como un objeto. De este modo, uno de los principales objetivos de Galileo –y de muchos de sus contemporáneos– era mejorar el estatuto epistemológico de las matemáticas y la abolición de la autoridad y el monopolio de los filósofos y teólogos como responsables del libro de la naturaleza (Remmert, 2005, p. 349), porque los practicantes de las matemáticas así concebidos, no se enfrentaban a problemas físicos como el movimiento o la aplicación de métodos matemáticos para este tipo de problemas, ya que pertenecían al campo de la filosofía natural. Según esto, las matemáticas estaban subordinadas a la filosofía y a la teología, y a la filosofía natural en particular (Remmert, 2005, p. 350). Sin embargo, las matemáticas en la modernidad comenzaron a producir instrumentos capaces de suministrar técnica y conocimiento socialmente valioso para su uso en ingeniería, administración, control social, entre otros. Esta capacidad de producir conocimiento útil y los posibles instrumentos de poder, se convirtió en la base fundamental para la legitimación de las matemáticas. Asimismo, la difusión de esta capacidad fue un medio esencial por el cual las matemáticas establecieron su estatus social y epistemológico (Remmert, 2005).

La incorporación de la geometría a la física, específicamente a la descripción del movimiento que he caracterizado, se constituye como un episodio fundamental para la matematización de la filosofía natural, la cual, además, está llamada a revalorarse en tanto

los estudios sobre ella deben atender a factores sociales, culturales e históricos, con el fin de ofrecer un matiz importante para comprender los orígenes de la ciencia moderna.



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

1 8 0 3

2

El rol de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias: modelos y propuestas didácticas

En el capítulo anterior he mostrado que la incorporación de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias se basa en el argumento según el cual la enseñanza no se debe concentrar sólo en los contenidos disciplinares sino, también, en enseñar sobre las ciencias. Sin embargo, tal incorporación es mucho más compleja que la sola elección de determinada corriente metacientífica y puede incurrir en errores interpretativos que, por supuesto, tienen consecuencias importantes en la enseñanza y en las investigaciones didácticas.

A mi modo de ver, la riqueza de las investigaciones metacientíficas en la enseñanza de las ciencias y en la investigación didáctica, se justifica toda vez que el didacta conozca y problematice adecuadamente los temas centrales de la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia, y logre abordarlos desde un enfoque formativo.³⁷ En este capítulo voy a mostrar

³⁷ Empleo el término “formativo” en este trabajo siguiendo la propuesta de Roth (1970): “Lo formativo es aquello que conduce a un experimentar valores, aquello que crea necesidades espirituales, que espiritualiza las fuerzas vitales, que forma los sentimientos, que despierta la cultura. El contenido formativo está en la fuerza, despertadora de interés y formadora de los sentimientos que el objeto posee. Aquellos aspectos del objeto en los cuales se pueden desarrollar los intereses espirituales y los sentimientos, pasan a ser el centro del conocimiento. Es una consideración sobre la ‘humanidad’ del objeto, sobre su fuerza para transformar las almas, su sabiduría, su fuerza confortadora, su fuerza trágica, su grandeza, su exaltación, sublimación, etc. Los momentos formativos en el objeto son aquellos que atraen el interés vital hacia ellos, que apresan el sentimiento y el ánimo, pero que, en la ocupación con el objeto, y esto es lo importante, transforman, es decir, dirigen hacia valores más altos y atan a éstos, o sea, moralizan y espiritualizan”. (p. 28)

que superados los problemas sobre el contexto descubrimiento y el contexto de justificación desde el programa fuerte de la sociología del conocimiento científico y los análisis empíricos, es necesario indagar por lo formativo de las propuestas que emergen en la didáctica de las ciencias. En la misma línea en que el programa fuerte aborda la ciencia como una institución social en contraste con los estudios sobre la validez del conocimiento que se enfocan en su importancia lógica, la didáctica es mucho más que metódica y nos pone a pensar en algo más que contenidos científicos que se deben enseñar, a saber, nos ubica en el análisis sobre las condiciones antropogénicas y sociales de nuestras decisiones metódicas. Es aquí donde, de modo particular, veo una relación necesaria y complementaria entre los estudios metacientíficos y la didáctica teórico-formativa. Pero esta relación sólo se hará explícita en el tercer y cuarto capítulo. Aquí se evidenciarán las insuficiencias y problemas que conlleva abordar los contenidos sin el enfoque formativo, o bien, renunciando al concepto de formación (Bildung).

En primer lugar, realizaré un análisis sobre las nociones de transposición didáctica, teoría de las situaciones didácticas y contrato didáctico de Chevallard y Brousseau respectivamente, éstas surgen en el contexto de la didáctica de las matemáticas en particular y la didáctica de las ciencias en general. El propósito es mostrar que las investigaciones didácticas con enfoque metacientífico usualmente se adecuan a la forma como Chevallard y Brousseau abordan los contenidos que se van a enseñar. Esto ofrecerá elementos de ponderación que se tendrán en cuenta en el tercer y cuarto capítulo para indagar sobre lo formativo de sus propuestas didácticas. En segundo lugar, señalaré los límites y alcances de ambas propuestas y su relación con planteamientos didácticos actuales sobre sus formas de entender los contenidos escolares, especialmente me referiré a la noción de movimiento galileano que he venido trabajando. Finalmente, mostraré que los análisis de los estudios metacientíficos en las investigaciones didácticas y la enseñanza de las ciencias, carecen de valor formativo si no pasan por la mirada de la pedagogía.

Didáctica de las ciencias: el problema

En el contexto educativo y pedagógico internacional se han configurado tres grandes tradiciones, a saber, la tradición alemana, la anglosajona y la francófono-suiza. Como lo

menciona Araceli de Tezanos (2010), términos como pedagogía y lo pedagógico, forman parte del vocabulario francés cotidiano, pero no sucede lo mismo con el término *didáctica*.

La didáctica es un concepto que se origina con los trabajos de Wolfgang Ratke y Juan Amós Comenio en el siglo XVII, y ha tenido un vínculo muy fuerte con la filosofía en general y la tradición filosófica alemana en particular. Como lo sostiene Kansanen (1998) ha sido una teorización y una construcción de modelos teóricos. Por su parte, Klafki (1991) la define como el complejo total de las decisiones, presuposiciones, fundamentaciones y procesos de la decisión sobre todos los aspectos de la enseñanza. La didáctica como subcampo de la pedagogía es entendida como aquella que se encarga de investigar de un modo teórico y práctico sobre las situaciones de enseñanza, que incluyen el aprendizaje, se pregunta por los contenidos en el marco de la formación (Bildung) y no sólo por *qué* contenido se debe enseñar. Sin embargo, Gastón Mialaret, matemático francés, plantea que la didáctica es un conjunto de métodos, técnicas y procedimientos para la enseñanza (De Tezanos, 2010).

En general, esta última es la forma como se entiende la didáctica en el contexto francés, piénsese por ejemplo en Chevallard, Glaeser, Delacote, Brousseau, Malgrange etc., anotando, además, que en este contexto no se alude a ella de una forma singular sino de una forma plural, a saber: didácticas específicas o didáctica de las ciencias. Es aquí donde se empieza a configurar una forma de abordar los problemas que resultan de la enseñanza y las formas más adecuadas para la apropiación de contenidos. Es importante anotar, también, que el surgimiento de las didácticas en el contexto francés se dio en el marco de reformas curriculares por parte del Ministerio de Educación, en la que se buscaba actualizar los contenidos en matemáticas, francés y ciencias. Los encargados de esta reforma fueron matemáticos, físicos y lingüistas (Caillot, 2007). Por este motivo, los conceptos de la pedagogía y la didáctica han resultado confusos en el contexto francés en tanto los profesionales de estas disciplinas se enfocaron más en resolver problemas de aprendizaje de contenidos y en establecer una diferencia entre didácticas y pedagogía, con el fin de atender a la importancia de los contenidos escolares y su dimensión epistemológica (Runge, 2013).

Sin embargo, en este trabajo propongo examinar los aportes de las investigaciones en didácticas específicas o de las ciencias señalando, además, sus límites y alcances y, enfocándome en sus transformaciones conceptuales porque en algunas propuestas de didactas

específicos la pregunta no gira en torno estrictamente a contenidos disciplinares, sino a contenidos pensados en una situación didáctica (Brousseau, 1990, 1991, 2007) o vistos desde lo que se ha denominado el triángulo didáctico (Chevallard, 1997, 2007). No obstante, aunque estas investigaciones son relevantes, es importante no perder de vista los propósitos e ideales formativos y entender la didáctica como un subcampo de la pedagogía que se encarga de investigar sobre la enseñanza como una situación compleja.³⁸

Transposición didáctica, triángulo didáctico y teoría de las situaciones didácticas

El triángulo didáctico (Chevallard, 1991) está constituido por tres momentos: enseñante/maestro, aprendiz/alumno y el saber/contenido. En este contexto, la didáctica se ocupa de la interacción entre estos tres momentos denominados situación de enseñanza. Este modelo permite analizar diversas formas de enseñanza según las relaciones que se establezcan entre los componentes:

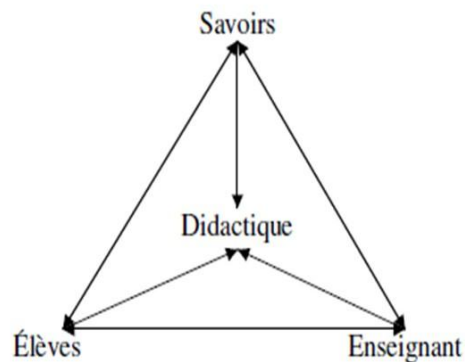


Figura 8
Le triangle didactique/el triángulo didáctico
Tomado de: (Chevallard, 1991)

El profesor desarrolla diseños precisos sobre cómo un estudiante aprende, sobre los fines de la educación y sobre los fundamentos epistemológicos de las ciencias. Este diseño

³⁸ Estos son dos de los problemas que se derivan de la concepción que tienen los didactas de las ciencias sobre la didáctica y que abordaré a lo largo de este capítulo. En los capítulos tres y cuatro presentaré mi propuesta para superar estas falencias.

determina, en parte, los actos de enseñanza. Los estudiantes abordan las lecciones con una estructura particular ofrecida por el “saber sabio” o conocimiento científico. Esto es coherente con lo que el profesor quiere que aprenda, pero no lo es en la medida en que no podrá alcanzar un conocimiento de este tipo. Efectivamente, el conocimiento presentado en las clases tiene unos lazos culturales y sociales fuera del aula. Tiene una historia que determina el contenido de enseñanza, su lugar en un curso y la forma de presentarlo. Depende de varios factores interrelacionados: los conceptos epistemológicos dominantes en las comunidades académicas, las relaciones culturales y los fines sociales especificados en la enseñanza (Abrougui-Hattab, 2007).

Runge (2013) caracteriza estas relaciones mencionando que del lado del docente-alumno se encuentra la educación y la formación. Del lado del alumno-saber se encuentra el aprendizaje y, del lado de la relación saber-docente se encuentra la enseñanza, el trabajo didáctico que incluye la transposición didáctica.

De esta manera, el didacta de una disciplina debe establecer unos objetivos que involucren el proceso de enseñanza y aprendizaje relacionados con la disciplina particular. Aquí debe hacer énfasis en la elaboración y estructuración con miras a la optimización de los contenidos, adicionalmente, debe preguntarse por las estrategias de enseñanza y los procesos de apropiación y adquisición de conocimientos (Abrougui-Hattab, 2007). Como se puede observar, este interés de las didácticas específicas en las condiciones de transmisión y adquisición de conocimientos, se encuentra en la adopción del triángulo didáctico como un modelo donde interactúan los actores mencionados. A este modelo le subyace la idea según la cual el conocimiento, en el contexto de la enseñanza, se debe transponer. Es decir, pasar el saber sabio (*savoirs savants*) a saber para ser enseñado (*savoirs à enseigner*), o pasar un conocimiento científico a contenido escolar.

Halté (1998) sostiene que la transposición didáctica es interpretada como un efecto negativo de la relación escolar porque el saber que se enseña realmente no es el saber sabio original. Sin embargo, Chevallard (1997) propone que un contenido de saber que ha sido designado como saber a enseñar sufre un conjunto de transformaciones adaptativas que lo hacen apto para ocupar un lugar entre los objetos de enseñanza. Esto quiere decir que se

puede considerar el saber a partir de sus usos y funcionamientos en contextos sociales particulares, porque como señala Brousseau, el saber es una construcción colectiva, sociohistóricamente situada (Rickenmann, Angulo, & Soto, 2012).

Así las cosas, el objetivo no sólo es un contenido disciplinar considerado bajo los parámetros de un conocimiento científico, sino, como un contenido de enseñanza pensado y modificado para que sea aprendido en una situación escolar o situación didáctica (Brousseau, 2007). En efecto, la teoría de las situaciones didácticas (TSD) de Brousseau parte de la distinción entre conocimiento y saber. Una situación se define como un conjunto de relaciones que ligan a un agente o a varios (Brousseau, 1990). Es aquí donde Brousseau señala que cada conocimiento o cada saber deben poder ser determinados por una situación porque los conocimientos pueden aparecer en situaciones originales, pero los saberes culturales están asociados necesariamente a prácticas sociales de referencia (Brousseau, 1990).

La TSD permite modelar las interacciones del profesor y el alumno en torno al saber. Al profesor le corresponde enseñarlo y al alumno le corresponde adquirirlo y apropiárselo. Brousseau plantea diversas situaciones didácticas: 1. Situación de acción: constituye el proceso en el que un alumno aprende métodos para resolver problemas. 2. Situación de formulación: capacidad del sujeto para retomar el conocimiento, descomponerlo y reconstruirlo. 3. Situación de validación: los alumnos construyen demostraciones y aprenden a convencer a los demás con base en argumentos. 4. Situaciones de institucionalización: se configura a partir de la reflexión del docente sobre los procesos generados por los estudiantes en la búsqueda de un conocimiento específico (Brousseau, 2007). En las situaciones didácticas las interacciones se analizan como situaciones de juego (Rickenmann et al., 2012) porque tienen unas metas y reglas relativas a un saber. En este juego tanto el profesor como el estudiante construyen significaciones en torno a un objeto de saber y con base en los recursos materiales simbólicos presentes en el medio didáctico. Es por esto que ni el profesor ni el estudiante controlan el saber que está en juego. De ahí que emerja el contrato didáctico, donde se evidencian los efectos didácticos³⁹ de las variables del sistema que influyen

³⁹ Efecto topaze, efecto jourdain, efecto del deslizamiento metadidáctico, efecto de analogía. Para ampliar la lectura sobre estos temas se puede consultar: Brousseau (1990, 1991, 2007).

directamente en la calidad de los contenidos construidos, ya sea en el ámbito de una lección de clase o en el conjunto de una comunidad (Brousseau, 1990, 1991, 2007; Rickenmann del Castillo et al., 2012).

En estas líneas se observan claramente los aportes de las didácticas específicas en lo que se refiere a la pregunta por los contenidos. Como lo he dicho, en este enfoque es muy importante no perder de vista los contenidos específicos y, sobre todo, abordarlos como contenidos de enseñanza, es decir, que sean aprendidos en una situación didáctica. Es por esto que las didácticas específicas se concentran en *qué* se ha de enseñar, y esto es relevante para una conceptualización, como lo he señalado, tanto del contrato didáctico como de la transposición didáctica y el medio didáctico. Como lo plantea Runge (2013), aunque el contenido de enseñanza es pensado, tratado, modificado y definido en una situación didáctica (Brousseau, 2007), esto no es nuevo en la tradición pedagógica occidental. Lo que he caracterizado como transposición didáctica es la reducción didáctica –*didaktische reduktion*– expuesta en los trabajos de Comenio (2003) y en los trabajos de Dietrich Hering (1959, 1963), a saber, la adaptación de los contenidos a las necesidades y posibilidades de los educandos (Ahlborn, Pahl, & Hering, 1998). A continuación mostraré algunos puntos susceptibles de discusión sobre los contenidos en la didáctica de las ciencias según lo dicho hasta aquí.

Contenidos, estudios metacientíficos y didáctica de las ciencias

La didáctica de las ciencias se concibe, según Adúriz-Bravo (1999), Adúriz-Bravo e Izquierdo (2002) y Porlán (1998), como una disciplina autónoma que tiene como objetivo la enseñanza a través de la transposición didáctica y el conocimiento de la disciplina específica para poder enseñarla. Aquí es fundamental el conocimiento de la ciencia y sobre la ciencia, en otras palabras, se hace evidente la relación entre la didáctica de las ciencias y los estudios metacientíficos.

Es claro que la didáctica de las ciencias ha tomado cierta distancia del enfoque filosófico denominado estudios sobre la validez del conocimiento, y se ha enfocado en la nueva filosofía de la ciencia que involucra los estudios históricos y sociales. Sin embargo, se han pasado por alto las consecuencias que conlleva distinguir el contexto de descubrimiento del contexto de justificación en las investigaciones didácticas, como lo señalé en el primer

capítulo de esta investigación. Según las investigaciones de Lederman (1992) y Meyling (1997) esto se justifica porque los profesores no tienen ideas que se correspondan con los postulados de los estudios metacientíficos, éstas se acercan más a las ideas que tienen las personas inexpertas en el tema. Además, las ideas de la naturaleza de las ciencias son inconsistentes con el conocimiento que tienen los maestros en ejercicio y en formación sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Adúriz-Bravo, Izquierdo & Estany, 2002; Pomeroy, 1993; Porlán, Rivero & del Pozo, 1997).

Una alternativa de análisis que proponen Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany (2002) es “seleccionar y transponer algunos contenidos de la filosofía de la ciencia e introducirlos en la formación inicial y continuada del profesorado, relacionándolos con los propios contenidos de ciencias y con los de la didáctica específica” (p. 466). La idea de la selección y transposición de contenidos se corresponde con el enfoque de Brousseau y Chevallard. El objetivo es incorporar los contenidos de los estudios metacientíficos por medio de propuestas prácticas (Matthews, 2002) centradas en contenidos específicos de ciencias (Jiménez-Aleixandre, 1995) sin que ello exija “un despliegue de modelos teóricos complejos provenientes de la filosofía de la ciencia” (Adúriz-Bravo et al., 2002). A mi modo de ver, no exigir un riguroso tratamiento conceptual tiene serias consecuencias en la investigación didáctica y en la incorporación de los estudios metacientíficos en la enseñanza de las ciencias, como lo sostuve en el primer capítulo a propósito de la distinción entre el contexto de justificación y el contexto de descubrimiento. No obstante, si se considera la tesis según la cual el SP es uno de los enfoques disponibles más adecuados para la comprensión y explicación del conocimiento científico, un enfoque apropiado para la didáctica de las ciencias y, además, se exige un manejo riguroso de sus propuestas teóricas, entonces la incorporación de los estudios metacientíficos y, en particular, del SP en las investigaciones didácticas, contribuiría de gran manera tanto al diseño de propuestas didácticas como a problematizar la educación en ciencias de los maestros en ejercicio y en formación. Pero esto sólo es un primer paso porque es claro que el objeto de los estudios metacientíficos no es la enseñanza, la formación (Bildung) ni la formación de maestros.

Siguiendo la línea argumentativa de Matthews (2002), Jiménez-Aleixandre (1995), Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany (2002), la didáctica de las ciencias es una disciplina

autónoma que se relaciona con otros campos, por lo que no hace parte ni de la didáctica general ni de la pedagogía. En efecto, Adúriz-Bravo e Izquierdo (2002) sostienen que es una disciplina con carácter propio que tiene y puede proferir autónomamente sistemas teóricos. Por su parte, Duschl (1990) propone que su fundamento es la disciplina específica –biología, física, matemáticas– y que el profesor debe tener conocimientos –meta-teóricos– sobre esa disciplina. Precisamente López (1990) plantea que la filosofía de la ciencia puede “iluminar” los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Según esta situación, la propia estructura conceptual de las disciplinas específicas determinan los problemas relativos a su enseñanza. Sin embargo, para Adúriz-Bravo e Izquierdo (2002) los problemas de la didáctica de las ciencias no surgen de la ciencia misma, porque por su carácter estrictamente autónomo ellos la defienden como una disciplina que se puede relacionar con otro campos sin depender de ellos. Esto comporta ciertos problemas, el primero es que se identifica a la didáctica general “como una competencia formal que se aplica a todos los contenidos desconociendo su especificidad” (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2002)⁴⁰ y segundo, aunque postulan a la didáctica de las ciencias como una disciplina autónoma, sostienen que “la epistemología, la historia de la ciencia y la psicología de la educación han provisto sus fundamentos teóricos” (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2002).

En consecuencia, Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany (2002) proponen seleccionar contenidos de la filosofía de la ciencia y transponerlos para la formación continua e inicial de maestros de ciencias. Los autores mencionados plantean el siguiente esquema basado en estas dimensiones: *poblaciones, contextos, finalidades y formatos* de cada propuesta. No obstante, es un enfoque que centra su mirada en los contenidos y no en preguntas formativas en relación con esos contenidos. En el siguiente capítulo mostraré que es inviable pensar en una didáctica –de las ciencias– sin preguntas formativas y fundamentada en disciplinas cuyo

⁴⁰ Es importante mencionar que afirmaciones de este tipo solo evidencian el desconocimiento de la tradición pedagógica. Por ejemplo, en una de las obras de Juan Amós Comenio más conocidas en nuestro contexto porque está traducida al español, como lo es la *Didáctica Magna*, el autor se encarga en la segunda parte de este libro de los saberes específicos. Asimismo, en los trabajos de Wolfgang Klafki constantemente se señala la necesidad de pensar en los contenidos específicos (biología, matemáticas, física, historia, etc.) pero en clave formativa. Las investigaciones de Karl-Heinz Flehsig, en particular *Sobre modelos didácticos y su catalogación* (1979) y *Kleines Handbuch didaktischer Modelle* (1996) señalan las formas para comprender los modelos didácticos (que incluyen las disciplinas específicas) y los trabajos de Peterßen como *Lehrbuch allgemeine Didaktik* (2001) exponen los niveles analíticos de la didáctica (que incluye las didácticas específicas).

propósito no es la formación (Bildung). Sostendré que la propia estructura conceptual de las disciplinas específicas no determina los problemas relativos a su enseñanza ni a la formación (Bildung).

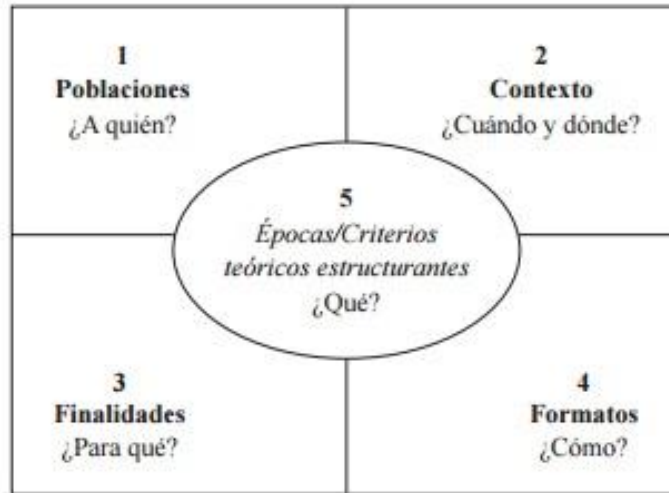


Figura 9
 Dimensiones de nuestro marco de análisis de las propuestas de enseñanza de la filosofía de la ciencia
 Tomado de: (Adúriz-Bravo et al., 2002)

Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany (2002) sostienen que estas dimensiones se corresponden con las preguntas curriculares tradicionales, a saber, ¿A quién enseñar la filosofía de la ciencia? ¿Dónde y cuándo enseñarla? ¿Para qué enseñarla? ¿Cómo enseñarla? y ¿Qué filosofía de la ciencia enseñar? Su explicación parte de la diversidad de estudiantes de ciencias. Señalan que esta *población* es diversa en tanto la enseñanza de las ciencias, en algunos contextos, es obligatoria y en otros complementaria, como en el caso de la escolarización obligatoria y en la formación de médicos e ingenieros respectivamente. Asimismo, la enseñanza de las ciencias también se dirige a los profesores de ciencias así como a los científicos, con sus respectivas diferencias, porque los profesores de ciencias en formación y en ejercicio tienen que resolver problemas prácticos mediante contenidos de filosofía de la ciencia (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2002). Dentro de la dimensión *población* también se incluye el profesorado en formación, profesorado en ejercicio y didactas de las ciencias. En efecto, se distingue al profesor que muy bien se desempeña en el aula de clase y al didacta que se encarga de formar al profesor, diseñar currículos e investigar. Esta

comunidad es la encargada de transponer la los contenidos de la filosofía de la ciencia con el fin de mejorar y contribuir a la educación en ciencias y funcionar como enlace con la población de profesores (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2002).

El contexto en el que se introduce la filosofía de la ciencia es el de (1) la práctica de la ciencia en la formación inicial de profesores, (2) los cursos de ciencias, (3) cursos de didáctica de las ciencias y (4) cursos de filosofía e historia de la ciencia. Se hace bastante énfasis en los tres últimos porque éstos suponen un espacio adecuado para mejorar el conocimiento profesional de los profesores. De esta manera, se realizan las respectivas transposiciones didácticas de los contenidos metacientíficos y se relacionan con los contenidos específicos de las ciencias.

Según López (1990), el contexto más indicado para incorporar la filosofía de la ciencia es la didáctica de las ciencias porque por su carácter integrador, la filosofía de la ciencia tendría mayor rango de aplicación en tanto análisis de segundo orden sobre los contenidos científicos, la enseñanza y el aprendizaje, lo cual generaría propuestas didácticas fundamentadas en los estudios metacientíficos, cumpliendo así con la exigencia de Matthews (2002) sobre la necesidad de diseñar propuestas prácticas para la enseñanza a partir de los estudios metacientíficos.

Como se ha observado, la importancia que tiene incorporar la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia en la enseñanza de las ciencias es un tema que ya ha sido reconocido y admitido por investigadores del campo (Driver, 1996; Duschl, 1990; Hodson, 2003; Höttecke & Silva, 2011; Matthews, 1994). Su *finalidad* a propósito de la aceptada relación con la didáctica de las ciencias es que posee un valor cultural para la formación de profesores de ciencias, por lo que debe incorporarse en los programas de estudio de educación en ciencias para la población en general que se ha identificado. Su incorporación se debe abordar de la misma forma en que se abordan los contenidos científicos para evitar una formación enciclopedista y propender por una formación más crítica. Además, esta finalidad cultural está relacionada con objetivos democráticos y morales en la que la filosofía de la ciencia tiene un papel activo, dado que contribuye a formar personas críticas y éticas frente

al desarrollo científico y tecnológico y su papel en la sociedad (Adúriz-Bravo et al., 2002; Driver, 1996).

El valor específico de la filosofía de la ciencia estriba en que es una disciplina que analiza teóricamente la ciencia. Esto complementa y mejora la enseñanza de los contenidos científicos por su enfoque explicativo, interpretativo y crítico, toda vez que no se concentra en una mirada normativa de la ciencia. De igual forma, la filosofía de la ciencia tiene un valor instrumental, esto quiere decir que ayuda a comprender mejor los contenidos que se enseñan, el diseño curricular y los modelos didácticos que se utilizan en el aula (Adúriz-Bravo et al., 2002; Duschl, 1990).

Finalmente, en la dimensión de los *formatos* se encuentran las actividades didácticas y la forma en que están estructuradas y secuenciadas, en particular, estos formatos pueden ser clases magistrales, talleres, prácticas de laboratorio etc., (Adúriz-Bravo et al., 2002).

Ahora bien, en el esquema propuesto (fig. 9), ¿qué tipo de contenidos se deben enseñar? Como lo he caracterizado, los contenidos que se deben seleccionar son los de la filosofía de la ciencia. En particular, se propone que los contenidos tengan una relación directa con una disciplina específica. Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany (2002) sugieren seleccionar estos contenidos con base en las grandes escuelas de la filosofía de la ciencia y sus autores:

Por tanto, la conformación del Círculo de Viena en los años veinte, que marca el inicio de la escuela llamada *positivismo lógico*, puede ser considerada un punto de partida consistente para la selección de los contenidos metacientíficos más adecuados al currículo de formación inicial del profesorado de ciencias. (p. 469)

Así las cosas, los contenidos específicos se derivan de las siguientes líneas:

- El positivismo lógico y la concepción heredada

Se justifica porque sus desarrollos teóricos contribuyen, en la investigación didáctica, a comprender las concepciones alternativas de los profesores y abre un panorama sobre los problemas fundamentales de la filosofía de la ciencia. Adicionalmente, permite que los maestros en formación se apropien de los conceptos básicos que son posteriormente problematizados por las tradiciones emergentes.

- El racionalismo crítico y la nueva filosofía de la ciencia

La mayor parte de las investigaciones en didáctica de las ciencias con enfoque histórico-epistemológico surgen de este periodo, el cual parece ser importante por los análisis realizados por Thomas Kuhn y el papel explicativo que les exigió a los historiadores de la ciencia. Adicionalmente, Adúriz-Bravo resalta que en este enfoque los trabajos de Popper sobre el falsacionismo tienen influencia en la investigación didáctica, el diseño curricular y en la concepción de ciencia de los profesores.

- El postmodernismo y las visiones contemporáneas

Aquí se incluye lo que Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany (2002) denominan “las visiones sociologistas en la filosofía de la ciencia de fuerte corte relativista”, que se ocupan de criticar el concepto de racionalidad categórica y de proponer “alternativas más o menos extremas que desdibujan la especificidad de la ciencia frente a otras formas de conocimiento institucionalizado”. Según Izquierdo las corrientes estructuralista, cognitiva y semántica, las cuales llama “visiones contemporáneas”, son de gran importancia en didáctica de las ciencias por las relaciones que se pueden establecer entre la filosofía de la ciencia, la psicología cognitiva y la pedagogía.

Estos tres periodos se transponen como propuesta didáctica según unos “criterios teóricos estructurantes”, que son conjuntos coherentes de ideas importantes que otorgan identidad a una disciplina académica cuando son utilizados con el fin clasificatorio de diferenciar entre propuestas de enseñanza de esa disciplina (Adúriz-Bravo et al., 2002). Así las cosas, los criterios planteados son:

- Correspondencia y racionalidad

El primero se refiere a la correspondencia que existe entre el conocimiento científico y la realidad por él representada. El segundo plantea un enfoque sobre la evaluación de las teorías científicas según la lógica del pensamiento hipotético-deductivo y según una alta coherencia instrumental entre medios y fines (Adúriz-Bravo et al., 2002).

- Representación y lenguajes

Aquí se hace énfasis en un análisis que tiene como objeto de estudio la estructura de las teorías desde las perspectivas lógica y lingüística. Se privilegia el lenguaje formal, sin embargo, con la emergencia de las ciencias cognitivas se propone que hay diversas formas de representación, y comunicación de las teorías y modelos.

- Intervención y método

Se analiza desde dos posturas: la primera tiene que ver con la posición según la cual sólo hay un método científico para generar o validar el conocimiento. La otra postula una pluralidad metodológica y la ausencia del método científico establecido. Estos enfoques tienen como consecuencia el énfasis en la intervención que la ciencia hace sobre el mundo. La forma de abordar este tema separa las dimensiones teórica y experimental de la ciencia.

- Contextos y valores

En estos criterios se evidencia la dicotomía entre el *contexto de descubrimiento* y el *contexto de justificación*. La filosofía de la ciencia se ha centrado en este último analizando los elementos lógicos de justificación del conocimiento. Según Adúriz-Bravo, Izquierdo y Estany (2002) una “irrupción” del externalismo y de la historia de la ciencia obligó a repensar esta dicotomía en términos de la articulación entre el plano social y cognitivo.

- Evolución y juicio

Aquí se introduce la hipótesis sobre las evoluciones anómalas y alineables a cambios de Gestalt. Se enfoca en los mecanismos utilizados por las comunidades científicas para seleccionar los modelos teóricos válidos para representarse el mundo. Los modelos de juicio

científico plantean una imagen evolucionista, que involucra estrategias cognitivas en el bagaje cultural humano.

- Normas y recursión

Se refiere al papel reflexivo que asume la filosofía de la ciencia sobre su rol como meta-ciencia. Se plantea la discusión sobre la naturaleza de los saberes metacientíficos, donde las dos posturas principales son la normatividad y el naturalismo. El enfoque normativo busca criterios racionales en la filosofía de la ciencia para determinar la científicidad del conocimiento y orientar su desarrollo. La postura naturalista sugiere un enfoque explicativo y acerca metodológicamente la filosofía de la ciencia a las demás disciplinas empíricas.

Respondiendo al esquema planteado (Fig. 9), la idea es utilizar los criterios teóricos estructurantes como elementos que permitan organizar, analizar y diseñar propuestas de enseñanza de la filosofía de las ciencias existentes en la didáctica de las ciencias, las cuales se pueden ajustar a necesidades particulares según el contexto educativo. Es así como la relación entre los estudios metacientíficos y la didáctica de las ciencias se hace más fuerte. En efecto, Izquierdo y Estany (2001) sugieren que la filosofía de la ciencia junto con la psicología cognitiva y la ciencia transmitida, fundamentan la enseñanza de las ciencias, y ello se expresa según propuestas didácticas concretas como la transposición didáctica y el contrato didáctico.

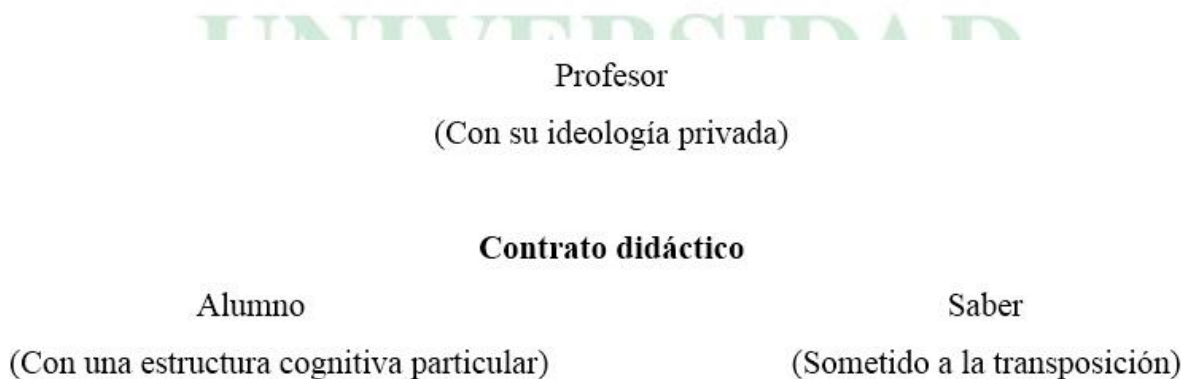


Figura 10
Contrato didáctico
Tomado de: (Estany & Izquierdo, 2001)

Para Brousseau (1984) el propósito en la enseñanza de las ciencias es comprender la interacción profesor-alumno-saber en el contrato didáctico y analizar qué elementos debe tener ese contrato para mejorar la enseñanza. Según lo planteado hasta aquí, preguntas del tipo ¿Qué enseñar? ¿Cuándo enseñar? ¿Cómo enseñar? y ¿Cómo evaluar los resultados? deben ser resueltas según una teoría explicativa que articule campos de conocimiento diversos, como las disciplinas científicas, su historia, la epistemología y la psicología cognitiva (Izquierdo & Estany, 2001).

El tema de los contenidos que se deben enseñar ha ocupado la agenda tanto de pedagogos como de didactas específicos, además de otros profesionales que interna o externamente han tenido que ver algo con la educación, piénsese por ejemplo en administradores educativos o en políticos normativizando aquello que se debe enseñar. He mostrado cómo Chevallard y Brousseau enfrentan esta tarea, a saber, proponiendo que los conocimientos científicos pasan por una transposición con el fin de pensarlos, modificarlos y abordarlos en el contexto de la enseñanza. En estas propuestas se observa que el ejercicio de pensar un contenido didácticamente es mucho más complejo que la mera transmisión de conocimientos. Sin embargo, su problema sigue siendo pensar sólo en la apropiación de contenidos sin considerar el contexto formativo.

En contraste con las propuestas didácticas caracterizadas en líneas anteriores donde indiscriminadamente se incorporan las corrientes más importantes de la filosofía de la ciencia en la didáctica de las ciencias, a continuación profundizaré en mi tesis según la cual la incorporación de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias se puede potenciar mediante los estudios de caso o análisis empíricos característicos del programa fuerte. No obstante, este es un primer momento de mi tesis que se verá concretado en los siguientes capítulos, porque aunque sostengo que el programa fuerte es uno de los enfoques de análisis más apropiados para la investigación en didáctica de las ciencias con perspectiva histórica y epistemológica, esto sólo será posible toda vez que se aborde en clave formativa.

El movimiento galileano en perspectiva didáctica

En esta sección voy a mostrar, siguiendo la línea argumentativa del primer capítulo en relación al movimiento galileano, que los usos de la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia, efectivamente contribuyen y favorecen el análisis conceptual de los contenidos para las investigaciones didácticas. Expondré algunos enfoques de análisis históricos y filosóficos sobre el péndulo y la caída libre en el contexto galileano y la forma como estos se ajustan al esquema de la transposición didáctica, el contrato didáctico y las preguntas planteadas por Estany, Izquierdo y Adúriz-Bravo, con el objetivo de mostrar que aunque se incorpore un enfoque como el que defiendo en esta tesis, a saber, el programa fuerte, esto es insuficiente si no se aborda en términos formativos. La idea es ofrecer elementos de análisis para los siguientes capítulos que permitan abordar los contenidos de los estudios metacientíficos como posibles contenidos formativos.

El péndulo galileano como contenido metacientífico

Una de las tesis que plantea Michael Matthews (2005) en el contexto de la denominada Naturaleza de las Ciencias, es que el descubrimiento de las propiedades del movimiento del péndulo dependió de la metodología de la idealización que Galileo asumió. En efecto, las leyes del movimiento pendular no fueron incorporadas hasta no superar los planteamientos aristotélicos que se orientaban a la observación del comportamiento del mundo. Este fue sólo uno de los inconvenientes para asumir las propiedades del movimiento pendular, el otro inconveniente se inscribió en la separación entre la matemática y la filosofía natural.⁴¹ Por esta razón, Matthews plantea que la prueba de las leyes requería no sólo una nueva ciencia, sino una nueva forma de hacer ciencia, una nueva forma de manejar la evidencia y una nueva metodología de la ciencia.

⁴¹ Ver capítulo 1.

Galileo en diferentes momentos de su carrera plantea sobre el movimiento del péndulo que:

- (1) El periodo varía con la longitud y después, más específicamente, con la raíz cuadrada de la longitud, esto es la Ley de Longitud.
- (2) El periodo es independiente de la amplitud, esto es la Ley de Independencia de la Amplitud.
- (3) El período es independiente del peso, esto es la Ley de la Independencia del Peso.
- (4) Para una longitud dada, todos los períodos son iguales, esto es la Ley de Isocronía.
(Matthews, 2000)

En los programas de estudio de física para maestros en formación y estudiantes de básica y media, estas leyes son enseñadas apelando estrictamente a la física del movimiento del péndulo. No obstante, mediante la historia de la ciencia se pueden apreciar aspectos metodológicos de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII y la importancia de la idealización en los logros científicos de Galileo (Matthews, 2005b).

Galileo en la carta del 29 de noviembre de 1602 dirigida a Guidobaldo del Monte anuncia su descubrimiento sobre el isocronismo del péndulo y admite que no hay una explicación apropiada de este fenómeno, propone el isocronismo del descenso a lo largo de cuerdas de un círculo y expone sus pruebas matemáticas en la proposición 6 del *movimiento acelerado*.

Esta es la traducción completa de la carta:

Me disculpo al insistir en tratar de persuadirle de la verdad de la proposición de que los movimientos dentro del mismo cuarto de círculo se hacen en tiempos iguales. Esto siempre me ha parecido notable, ahora parece aún más notable que haya llegado a considerarlo como falso. Por lo tanto, considero que es un gran error y falta en mí mismo si debo permitir que esto sea repudiado por su teoría como algo falso; no merece esta censura, ni tampoco debe ser desterrada de su mente, la cual, mejor que cualquier otra, será capaz de mantenerla más fácilmente del exilio por la mente de los demás. Y puesto que la experiencia por

la cual la verdad se ha aclarado a mi es tan segura, por confusa que pueda haber sido explicada en mi otra [carta], lo repetiré con mayor claridad para que usted también, al hacer este [experimento], pueda estar seguro de esta verdad.

Tome dos hilos delgados de igual longitud, cada uno de dos o tres braccia [4-6 pies]; Sean AB y EF (Fig. 11). Cuelgue A y E de dos clavos, y en los otros extremos atar dos bolas iguales (aunque no hace ninguna diferencia si son desiguales). Luego se mueven ambos hilos desde la vertical, uno de ellos muy a través del arco CB, y el otro muy poco como a través del arco IF, a continuación se liberan en el mismo instante del tiempo. Uno comenzará a describir grandes arcos como BCD mientras que el otro describe pequeños como la FIG. Sin embargo, de esta manera, el cuerpo móvil B no consumirá más tiempo pasando todo el arco BCD que el utilizado por el otro F móvil al pasar el arco FIG. Estoy muy seguro de esto como sigue.

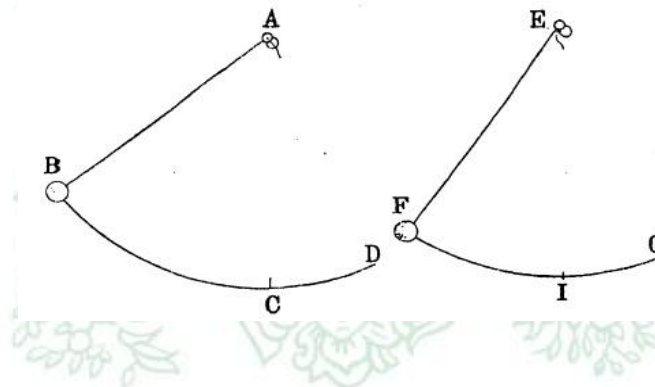


Figura 11

El móvil B pasa a través del arco grande BCD y regresa por el mismo DCB y luego regresa hacia D, y pasa 500 o 1000 veces repitiendo sus oscilaciones. El otro va igualmente de F a G y luego vuelve a F, y hará similarmente muchas oscilaciones; Y en el tiempo que cuento, digamos, las primeras 100 oscilaciones grandes BCD, DCB y así sucesivamente, otro observador cuenta 100 de las otras oscilaciones a través de FIG, muy pequeño, y no cuenta ni siquiera una más - un signo más evidente que uno de estos grandes arcos BDC consume tanto tiempo como cada uno de los pequeños FIG. Ahora bien, si todo el BCD se transmite en tanto tiempo en el que se pasa la FIG, aunque [FIG] es sólo la mitad de ellos, siendo estos descensos a través de arcos desiguales del mismo cuadrante, se

harán en tiempos iguales. Pero incluso sin preocuparse de contar muchos, verá que el móvil F no hará sus pequeñas oscilaciones con más frecuencia que B hace sus más grandes; siempre estarán juntos.

El experimento que me dices que hiciste en el borde de una vertical puede ser muy poco concluyente, quizá por el hecho de que la superficie no es perfectamente circular, y de nuevo porque en un solo pasaje no se puede observar bien el preciso comienzo del movimiento. Pero si tomamos la misma superficie cóncava (Fig. 12) y dejamos que la bola B vaya libremente desde una gran distancia, como en el punto B, pasará por una gran distancia al principio de sus oscilaciones y una pequeña al final de estos, sin embargo, no hará que este último sea más frecuentemente que el anterior.



Figura 12

Entonces, en cuanto a su apariencia irrazonable que dado un cuadrante de 100 millas de largo, uno de los dos movibles iguales podría atravesar el todo y [al mismo tiempo] otro, pero un solo tramo, digo que es cierto que esto contiene algo de lo maravilloso, pero nuestra maravilla cesará si consideramos que podría haber un plano tan poco inclinado como el de la superficie de un río que corre lentamente, de modo que en este [plano] un movimiento no se habrá movido naturalmente más de un palmo en el tiempo que en otro plano, fuertemente inclinado (o dado un gran impulso incluso en una suave inclinación), se habrá movido 100 millas. Tal vez la proposición no tiene inherentemente mayor improbabilidad que los triángulos entre los mismos paralelos y en bases iguales son siempre iguales en el área, aunque uno puede ser bastante corto y el otro 1000 millas de largo. Pero manteniendo nuestro tema, creo que he demostrado que una conclusión no es menos pensable que la otra.

Sea BA el diámetro del círculo BDA erigido a la horizontal, y del punto A a la circunferencia dibuje cualquier línea AF, AE, AD y AC (Fig. 13).

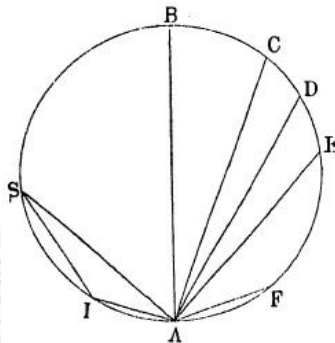


Figura 13

Muestro que los móviles iguales caen en tiempos iguales, ya sea a lo largo de la vertical BA o a través de los planos inclinados a lo largo de las líneas CA, DA, EA y FA. Así, saliendo en el mismo momento de los puntos B, C, D, E y F, llegan al mismo momento en el término A; y la línea FA puede ser tan corta como desee.

Y quizás aún más sorprendente, esto, también demostrado por mí: siendo la línea SA no mayor que la cuerda de un cuadrante, y las líneas SI, IA de cualquier manera, el mismo móvil recorre el camino SIA, partiendo más rápidamente de S que sólo el camino IA partiendo de I.

Esto ha sido demostrado por mí sin transgredir los límites de la mecánica. Pero no puedo lograr demostrar que los arcos SIA y IA se pasan en tiempos iguales, que es lo que estoy buscando [...]. (Carta de Galileo a Guidobaldo del Monte, 29 de noviembre de 1602)⁴²

⁴² Scusi la mia importunità, se persisto in volver persuaderle vera la proposizione de i moti fatti in tempi uguali nella medesima quarta de cerchio; perchè, essendomi parga sempre mirabile, hora viepiù mi pare, che da V.S. III. bien reputata come impossibile: onde io stimerei grand' errore e mancamento il mio, s' io permettessi che essa venisse repudiata dalla di lei speculazione, come quella che fusse falsa, non meritando lei questa nota, nè tampoco d' esser bandita dall' intelletto di V.S.III. , che più d' ogn' altro la potrà più presto ritarre dall' esilio delle nostre menti. E perchè l' esperienza, con che mi sono principalmente chiarito di tal verità, è tanto certa, quanto da me confusamente stata esplicata nell' altra mia, la replicherò più apertamente, onde ancora lei, facendola, possa accertarsi di questa verità.

Piglio dunque due fili sottili, lunghi ugualmente due o tre braccia l' uno, e siano AB, EF, e' gli appicco a due chiodetti A, E, e nell' altre estremità B, F lego due palle di piombo uguali (seben niente importa se ussero disuguali), rimuovendo poi ciascuno de' detti fili dal suo perpendicolo, ma uno assai, come saria per l' arco CB, e l' altro pochissimo, come saria secondo l' arco IF; gli lascio poi nell' istesso momento di tempo andar liberamente, e l' uno comincia a descrivere archi

En la primera línea de la carta se observa que Galileo está pensando en la isocronía en el cuarto de un círculo. La simetría emergente en la trayectoria del péndulo supuso que el equilibrio entre el ímpetu ganado en la caída de una altura inicial y el requerido para subir de nuevo, era el mismo. Sin embargo, su atención se enfocó en hallar una relación entre velocidad y altura donde la altura inicial no importara. Machamer y Hepburn (2005) señalan que la isocronía no sugirió a Galileo que el tiempo jugaba un papel fundamental en la explicación causal de los fenómenos. Si bien, es claro que para la ley de isocronía todos los

grandi, simili al BCD, e l' altro ne describe de' piccoli, simili all' FIG; ma non però consuma più tempo il mobile B a passare tutto l' arco BCD, che si faccia l' altro mobile F a passare l' arco FIG. Di che mi rendo sicurissimo così:

Il mobile B passa per il grand' arco BCD, e ritorna per lo medesimo DCB, e poi ritorna verso D, e va per 500 e 1000 volte reiterando le sue reciprocazioni; l' altro parimente va da F in G, e di qui torna in F, e parimente farà molte reciprocazioni; en el tempo ch' io numero, verbi grazia, le prime cento grandi reciprocazioni BCD, DCB etc., un altro osservatore numera cento altre reciprocazioni per FIG piccolissime, e non ne numera pure una sola di più: segno evidentissimo che ciascheda particolare di ese grandissime BCD consuma tanto tempo, quanto ogni una delle minime particolari FIG. Or se tutta la BCD bien passata in tanto tempo in quanto la FIG, ancora le loro metà, che sono le cadute per gli archi disuguali della medesima quarta, saranno fatte in tempi uguali. Ma anco senza stare a numerar altro, V.S.III. vedrà che il mobile F non farà le sue piccolissime reciprocazioni più frequenti che il mobile B le sue grandissime, ma sempre anderanno insieme.

L'esperienza, ch' ella mi dice aver fatta nello scatolone, può essere assai incerta, si per non esser forse la sua superficie ben pulita, sì forse per non esser perfettamente circolare, si ancora per non si potere in un solo passaggio così bene osservare il momento stesso sul principio del moto: ma se V. S. III. pur vuol pigliare questa superficie incavata, lasci andar da gran distanza, come saria dal punto B, liberamente la palla B, la quale passerà in D, e farà nel principio le sue reciprocazioni grandi d'intervallo, e nel fine piccole, ma non però queste più frequenti di tempo di quelle.

Quanto poi al parere irragionevole che, pigliandosi una quarta lunga 100 miglia, due mobili uguali possino passarla, uno tutta, e l' altro un palmo solo, in tempi uguali, dico esser vero che ha dell' ammirando; ma se consideriamo che può esser un piano tanto poco declive, qual saria quello della superficie di un fiume che lentissimamente si muovesse, che in esso non haverà camminato un mobile naturalmente più d'un palmo nel tempo che un altro sopra un piano molto inclinato (ovvero congiunto con grandissimo impeto ricevuto, anco sopra una piccola inclinazione) haverà passato cento miglia: nè questa proposizione ha seco per avventura più inverisimilitudine di quello che si habbia che i triangoli tra le medesime parallele et in basi uguali siano sempre uguali, potendone fare uno brevissimo e l' altro lungo mille miglia. Ma restando B nella medesima materia, io credo haver dimostrato questa conclusione, non meno dell' altra inopinabile.

Sia del cerchio BDA il diametro BA eretto all' orizzonte, e dal punto A sino alla circonferenza tirate linee utcumque AF, AE, AD, AC: dimostro, mobili uguali cadere in tempi uguali e per la perpendicolare BA e per piani inclinati secondo le linee CA, DA, EA, FA; sicché, partendosi nell' istesso momento dalli punti B, C, D, E, F, arriveranno in uno stesso momento al termine A, e sia la linea FA piccola quant'esser si voglia.

E forse anco più inopinabile parerà questo, pur da me dimostrato, che essendo la linea SA non maggiore della corda d'una quarta, e le linee SI, IA utcumque, più presto fa il medesimo mobile il viaggio SIA, partendosi da S, che il viaggio solo IA, partendosi da I.

Sin qui ho dimostrato senza trasgredire i termini meccanici; ma non posso spuntare a dimostrare come gli archi SIA et IA siano passati in tempi uguali: che è quello che cerco (Carta de Galileo a Guidobaldo del Monte, 29 de noviembre de 1602, Opere, Vol. X, pp. 97-100).

tiempos son los mismos, el punto que marcaba la diferencia era la altura del desplazamiento inicial.

En efecto, Galileo está cerca de una afirmación sobre el movimiento a lo largo de los arcos del círculo, pero como se observa, dice que “no puedo lograr demostrar que los arcos SIA y IA se pasan en tiempos iguales, que es lo que estoy buscando”. Aunque tiene algunas aproximaciones sobre el isocronismo del movimiento circular, éstas aún no son correctas. No obstante, como bien lo sostiene Matthews (2005), contrario a lo que muestran los libros de texto, no fue la observación sino el experimento acompañado de las matemáticas, las que tuvieron un papel fundamental en las pruebas sobre las propiedades del movimiento del péndulo.

Precisamente, Galileo utiliza el argumento de la carta a Guidobaldo del Monte para analizar el movimiento del péndulo en términos de movimiento circular y movimiento a lo largo de las cuerdas de un círculo. Su respuesta a del Monte gira en torno a la necesidad del experimento y de las matemáticas para el análisis y justificación, en este caso, de las propiedades del péndulo.

Guidobaldo del Monte sostenía:

Así, encontramos en nuestro tiempo algunos matemáticos interesados que afirman que la mecánica puede ser considerada matemáticamente, quitada [de consideraciones físicas], o físicamente. ¡Como si, en cualquier momento, la mecánica pudiese ser considerada aparte de demostraciones geométricas o del movimiento real! Seguramente cuando se hace esa distinción, me parece (para tratar suavemente con ellos) que todo lo que logran al presentarse alternativamente como físicos y como matemáticos es simplemente quedarse nadando entre dos aguas y no llegar a ningún lado, como dice el refrán. La mecánica ya no puede llamarse mecánica cuando se abstrae y se separa de las máquinas. (Drake & Drabkin, 1969)⁴³

⁴³ Thus, there are found some keen mathematicians of our time who assert that mechanics may be considered either mathematically, removed [from physical considerations], or else physically. As if, at any time, mechanics could be considered apart from either geometrical demonstrations or actual motion! Surely when that

Más adelante sostiene:

[...] Engañados cuando se comprometen a investigar el equilibrio de una manera puramente matemática, siendo su teoría realmente mecánica; ni pueden razonar exitosamente sin el verdadero movimiento del equilibrio y sin sus pesos, siendo estas cosas completamente físicas, descuidando las cuales simplemente no pueden llegar a la verdadera causa de los acontecimientos que tienen lugar con respecto a la balanza. (Drake & Drabkin, 1969)⁴⁴

Esta es la base metodológica para la crítica de del Monte al tratamiento matemático de Galileo del movimiento del péndulo. Como se observa en la carta del 29 de noviembre de 1602, Galileo escribió sobre su descubrimiento de la isocronía del péndulo. Esto le permite afirmar (1) que en un círculo, el tiempo de descenso de un cuerpo en caída libre a lo largo de todas las cuerdas que terminan en el punto más bajo es el mismo, independientemente de la longitud de la cuerda, y (2) en el mismo círculo, el tiempo de descenso largo de una cuerda es más largo que a lo largo de sus acordes compuestos, a pesar que la última ruta es más larga que la anterior. Revisaré nuevamente la figura 13:

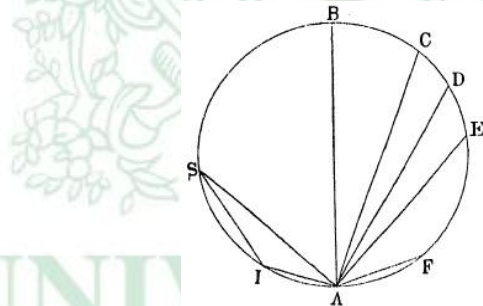


Figura 13

Esta figura presenta un círculo y sus cuerdas. Galileo sostuvo que el tiempo de caída libre a lo largo de BA es el mismo que el movimiento a lo largo de las pendientes DA, EA, FA. Más tarde formuló su ley del tiempo al cuadrado, diciendo que la distancia de caída varía

distinction is made, it seems to me (to deal gently with them) that all they accomplish by putting themselves forth alternately as physicists and as mathematicians is simply that they fall between two stools, as the saying goes. For mechanics can no longer be called mechanics when it is abstracted and separated from machines.

⁴⁴ [...] deceived when they undertake to investigate the balance in a purely mathematical way, its theory being actually mechanical; nor can they reason successfully without the true movement of the balance and without its weights, these being completely physical things, neglecting which they simply cannot arrive at the true cause of events that take place with regard to the balance.

como el cuadrado del tiempo transcurrido $s \propto t^2$ o bien, el tiempo transcurrido varía según la raíz cuadrada de la distancia caída $t \propto \sqrt{s}$. Aquí el círculo es trazado por un péndulo cuya longitud es el semidiámetro (medio BA), e intuye (pero no pudo probar) que los tiempos de descenso a lo largo de los arcos DEFA, EFA, FA son iguales. Galileo entonces tiene una prueba para el movimiento isocrónico de un péndulo cuya longitud es el semidiámetro de BA. Adicionalmente, el período t , será como la raíz cuadrada de la longitud del péndulo, \sqrt{l} (Matthews, 2000).

Al igual que en capítulo anterior, el principio: *la velocidad adquirida en cada punto de su trayectoria por un cuerpo en caída libre es proporcional a la distancia recorrida* que es presentada como el principio incorrecto, nos sirve para analizar los obstáculos y transformaciones de las prácticas de Galileo. Como bien lo plantea Matthews, aunque Galileo tiene intuiciones confiadas acerca del isocronismo del movimiento circular, éstas están equivocadas, y fueron corregidas más tarde por Huygens, quien estableció geoméricamente que es el movimiento en una cicloide, no en un círculo, el que es isocrónico, aunque para pequeñas amplitudes, el círculo y la cicloide coinciden.

Según lo anterior, el debate con Guidobaldo del Monte evidencia que el problema sobre la legitimación de la ciencia implica más que un debate epistemológico. En efecto, esto se corresponde con la idea presentada en el primer capítulo, en el que se sostiene que las matemáticas tienen un estatus social y cognitivo menor en relación a la filosofía aristotélica dominante (Bertoloni-Meli, 2006; Biagioli, 2008; Salvia, 2014), lo que permite caracterizar una forma de matematización de la filosofía natural, atendiendo, como lo menciona Biagioli (2008) a las taxonomías sociales del estatus y la credibilidad.

Guidobaldo del Monte fue uno de los mecenas de Galileo, gracias a él obtiene sus puestos en la Universidad de Pisa en 1589 y en la de Padua en 1591. Gracias a Guidobaldo es que Galileo conoce al mecenas más importante de Padua: Vincenzo Pinelli y, debido a las relaciones sociales establecidas, consigue el patrocinio de Sagredo en Venecia. El mecenazgo no es un mero recurso para ser usado por beneficiarios astutos, sino que es un elemento esencial para el desarrollo de la ciencia de Galileo avalada por una institución social. Galileo

“detecta y usa los recursos presentes en esa institución para construirse una nueva identidad socioprofesional, proponer una nueva filosofía natural y crear un público para ella dentro de la corte” (Biagioli, 2008).

Ahora bien, en 1638 Galileo (2003) en los *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias* ofrece una prueba de su ley en el teorema VI: “Si desde el punto más alto o más bajo de un círculo vertical sobre la horizontal, se trazan algunos planos inclinados hasta la circunferencia, los tiempos de los descensos por los mismos serán iguales” (p. 253).

Como lo plantea Matthews (2000) esta ley de cuerdas está cerca de una prueba de isocronía del movimiento del péndulo. La ley ha demostrado que el tiempo de descenso por planos inclinados es el mismo, siempre que los planos estén inscritos en un círculo y se originen en el ápice o terminen en el nadir. Esto significa que la amplitud no afecta al tiempo que se toma. Esto es altamente sugestivo de una Ley de Arcos donde la amplitud no debe afectar el tiempo de descenso o el tiempo de oscilación.

Si desde el punto inferior de un círculo vertical (C) se eleva un plano (CD) que subtienda un [arco de] circunferencia no mayor que un cuadrante, y desde los extremos de ese plano se trazan otros dos planos inclinados hasta cualquier punto de la circunferencia (B), el descenso por ambos planos inclinados se efectuará (DB, BC) en más breve tiempo que por el solo primer plano elevado, o que por sólo el segundo de los dos, es decir por el inferior (BC) (Galilei, 2003, p. 301)

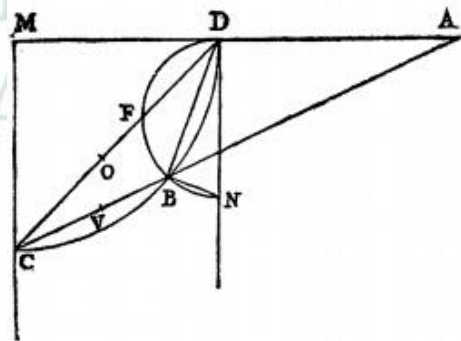


Figura 14
Tomado de: (Galilei, 2003, p. 301)

La propuesta de Matthews (2000) apunta a que la ley de longitud y la ley de la amplitud juntas equivalen a la ley de isocronía, porque afirmar que el movimiento de un péndulo es isócrono es afirmar que cada oscilación toma el mismo tiempo. Esto no es consecuencia de la ley de amplitud, posiblemente se desprende de la ley de longitud: si el período depende sólo de la longitud, entonces, idealmente, cada oscilación tomará el mismo tiempo que cualquier otra oscilación.

Galileo aborda el tema de la isocronía en sus *Diálogos* y vuelve nuevamente sobre el péndulo:

[...] habiendo retirado el péndulo de plomo, un arco de cincuenta grados, y dejado desde allí en libertad, se balancea más allá de la perpendicular casi cincuenta grados, describiendo así un arco de casi cien grados; en la oscilación de retorno describe un arco un poco más pequeño; y después de un gran número de tales vibraciones finalmente descansa. Cada vibración, ya sea de noventa, cincuenta, veinte, diez o cuatro grados ocupa el mismo tiempo: en consecuencia la velocidad del cuerpo en movimiento sigue disminuyendo ya que en intervalos iguales de tiempo, atraviesa arcos cada vez más pequeños. Algo semejante y podría decir que idéntico sucede con el corcho. [...] si los mismos móviles pasaran en los mismos tiempos iguales, arcos también iguales, con toda seguridad se podría decir que sus respectivas velocidades son también iguales. (Galilei, 1914, pp. 84-85)

El debate en torno al movimiento pendular y, específicamente las correspondencias de Galileo con Del Monte, constituyen elementos fundamentales que pueden enriquecer el análisis conceptual de los contenidos para las investigaciones didácticas y la enseñanza de las ciencias. Lograr evidenciar estos aspectos de la dinámica científica que son importantes para la superación de la narrativa clásica concentrada en el relato de los vencedores. Como lo he planteado, la postulación del movimiento pendular no se inscribe sólo en la formulación del *Discurso* en 1638, sino que tuvo sus inicios, con sus errores y transformaciones, en los escritos tempranos de Galileo, por ejemplo, en la carta con Del Monte del 29 de noviembre de 1602.

Matthews (2005) también sostiene que el debate Del Monte y Galileo es una parte sencilla, pero científicamente y metodológicamente rica de la tradición que puede ser fácilmente incluida en los programas de estudio de física. El descubrimiento de Galileo y la utilización de las propiedades del movimiento del péndulo es un impresionante ejemplo del "proceso creativo".

La aceleración es una característica del plano inclinado y péndulo es un instrumento eficaz para percibirlo. La tarea del didacta y del profesor de ciencias es encontrar la manera de representar el tiempo tal que pueda ser visto como el factor importante en el plano inclinado y el péndulo. Machamer y Hepburn, (2005) sugieren que el problema final es usar lo que se observa y se mide en el plano inclinado y el péndulo para transferirlo al concepto de un cuerpo que cae libremente, y que esta discusión en este punto debe animar a los estudiantes a reflexionar sobre la naturaleza básica de los movimientos como se observan en el mundo.

Contenidos disciplinares y contenidos formativos: el caso del movimiento galileano

Las propuestas de los didactas de las ciencias abordados en líneas anteriores exhiben lo que a mi modo de ver es un pseudoproblema en cuanto a la distinción entre pedagogía y didáctica y las tareas que le corresponde a esta última. El punto es que la didáctica no puede reducirse sólo a consideraciones sobre las formas o estrategias que se deben emplear para la enseñanza de contenidos, sino que en tanto subcampo de la pedagogía, debe atender a los problemas formativos que le subyacen a cualquier práctica educativa, la cual, por supuesto, no se restringe a su forma institucional. En este sentido, hay que resaltar que en las propuestas didácticas caracterizadas en la sección anterior emerjan preguntas referidas *al qué, a quién, cuándo y dónde, para qué y cómo*, pero hay que llamar la atención con el fin de corregir sus propósitos porque no se trata de preguntas subordinadas a los contenidos ni tampoco se resuelven según la dinámica de las ciencias, se trata de preguntas pedagógicamente fundamentales porque las condiciones para la enseñanza de un saber específico no se desprenden exclusivamente de dicho saber, sino que dichos saberes y su lógica deben pasar por una lente pedagógica de manera que se puedan analizar problemas pedagógicos que atraviesan a la enseñanza y la educación (Runge, 2008).

Según lo anterior, la tarea de abordar los contenidos de una forma didáctica parcialmente se resuelve con los trabajos mencionados. No obstante, la emergencia del pensamiento pedagógico en Francia, como lo planteé al inicio de este capítulo, fue confuso y resultó complejo debido a que profesionales de otras disciplinas que carecían de formación y conocimiento de la tradición pedagógica, fueron los encargados y quienes se ocuparon de problemas sobre la enseñanza y la educación. Es por esto que los trabajos de Chevallard y Brousseau y, en general las didácticas francesas, cubren parcialmente preguntas y problemas pedagógicos. Aquí se evidencia un problema central. Pensar que la didáctica se ocupa del *qué* resulta insuficiente. Si el concepto de movimiento pendular pasa a ser un contenido para ser enseñado, según el esquema de Adúriz-Bravo y las preguntas de Estany e Izquierdo, tendremos indefectiblemente un enfoque centrado en los contenidos por más que se intente “contextualizar” con los estudios metacientíficos. Esta es la propuesta de Aduriz-Bravo, Estany e Izquierdo (Adúriz-Bravo et al., 2002):

Propuesta de incorporación de la filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias				
Adúriz-Bravo, Estany e Izquierdo.				
Poblaciones	Contextos	Finalidades	Formatos	Contenidos
<ul style="list-style-type: none"> • Población general • Ingenieros, Médicos • Maestros de ciencias en formación • Maestros de ciencias en ejercicio • Didactas de las ciencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Práctica de la ciencia en el ámbito de la formación inicial en las facultades de ciencias • Maestros de ciencias en formación • Maestros de ciencias en ejercicio • Didactas de las ciencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Valor cultural Relacionado con objetivos democráticos y morales • Valor específico Al ser una reflexión teórica sobre la ciencia potencia los contenidos de las ciencias • Valor instrumental Ayuda a comprender mejor los contenidos de las ciencias. Sirve para el desarrollo curricular y para la 	<ul style="list-style-type: none"> • Clases magistrales • Talleres • Trabajos en pequeños grupos • Prácticas de laboratorio • Investigaciones guiadas • Dramatizaciones 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Criterios: <ul style="list-style-type: none"> • Relación con una disciplina particular (física, química, biología) • Anclado a contenidos específicos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Contenidos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Positivismo lógico y concepción heredada ▪ Racionalismo crítico y la nueva filosofía de la ciencia ▪ Postmodernismo y visiones contemporáneas • Criterios teóricos estructurantes <ul style="list-style-type: none"> ✓ Correspondencia y racionalidad ✓ Representación y lenguajes

		utilización y diseño de modelos didácticos		✓ Intervención y método ✓ Contextos y valores ✓ Evolución y juicio ✓ Normatividad y recursión
--	--	--	--	--

Tabla 1
 Propuesta de incorporación de la filosofía de la ciencia en la enseñanza de las ciencias
 Tomado de: (Adúriz-Bravo et al., 2002)

El anterior esquema orienta el ejercicio didáctico hacia la importancia del contenido. Por ejemplo, el contenido *movimiento pendular* tendría que responder a las 5 columnas de la tabla anterior:

- **Población:** Maestros de ciencias en formación, Didactas de las ciencias
- **Contextos:** Maestros de ciencias en formación, Didactas de las ciencias
- **Finalidades:**
 - **Valor cultural:** En las correspondencias de Galileo con Del Monte se ha encontrado que Galileo ofrece disculpas a su patrocinador por no haber sido lo suficientemente claro en su explicación sobre el isocronismo del movimiento circular. Aquí se identifica un valor moral central para la actividad científica: la honestidad en la ciencia. Aunque Del Monte y Galileo establecieron un fuerte lazo de amistad, Del Monte no dejó de ser uno de los principales críticos de sus teorías. Es preciso recordar que la crítica, como lo propone Popper (1991), es un elemento fundamental para el crecimiento y desarrollo del conocimiento.
 - **Valor específico:** El análisis del movimiento galileano en perspectiva metacientífica permite comprender problemas relativos a la caída de un cuerpo mediante lo que se observa y se mide en el plano inclinado y el péndulo.

- **Valor instrumental:** Sin lugar a dudas, el estudio del movimiento desde el enfoque metacientífico adecuado, permite una mejor comprensión de sus problemas, errores, obstáculos y transformaciones que no son evidentes en los relatos heroicos de los libros de texto usados para su enseñanza. Actualmente, el diseño curricular exige transversalidad de saberes. Aquí se observa una importante relación entre los contenidos científicos y los estudios metacientíficos.
- **Formatos:** Clases magistrales: El análisis del movimiento galileano puede ser complementado con prácticas experimentales que fomentan, por ejemplo, el trabajo en equipo. Tal es el caso de calcular trayectorias de proyectiles en el campo.
- **Contenidos:** Criterios:
 - Relación con una disciplina particular: **física**
 - Anclado a contenidos específicos: **péndulo, caída libre**
 - Contenidos:
 - Racionalismo crítico y la nueva filosofía de la ciencia: **historia de la ciencia**
 - Postmodernismo y visiones contemporáneas: **sociología del conocimiento científico**

En el ejercicio anterior se observa un intento por superar el enfoque enciclopédico de los contenidos. Se propone tal superación mediante la introducción, nuevamente, de contenidos metacientíficos que contextualicen los contenidos específicos de las ciencias. Hay un esfuerzo que debe ser valorado, y es que mediante la incorporación de los estudios metacientíficos se resaltan valores, actividades para la enseñanza y contenidos poco usuales en los programas de física para maestros de ciencias en formación y en ejercicio. No obstante, al hacer énfasis en los contenidos metacientíficos y los contenidos específicos, se evidencia la necesidad de objetivizarlos, por ejemplo, cuando se postulan los criterios teóricos estructurantes y la selección de contenidos organizada de una forma cronológica, dotándolos, como lo sostiene Klafki (1985), con la apariencia de una incuestionable validez pasando por alto cualquier criterio pedagógico de elección.

En la propuesta de Aduriz-Bravo, Estany e Izquierdo se resaltan las preguntas básicas que cualquier didacta debe tener en cuenta y que los autores sintetizan en *población, contextos, finalidades, formatos y contenidos*. Sin embargo, esas preguntas en tanto se subordinan a lo que dicta el contenido, pierden su relevancia formativa.

Desde el punto de vista formativo, los aspectos relativos a la enseñanza no se encuentran subordinados a la estructura conceptual de los contenidos, o bien, a criterios objetivos, sino que son los criterios didáctico-formativos que guían las preguntas sobre el análisis de los contenidos. En otras palabras, el contenido desde sí mismo o la propia dinámica de las ciencias no señalan los problemas pedagógicos sobre la enseñanza.

La importancia de la anterior perspectiva se inscribe en que la enseñanza y selección de los contenidos científicos no viene dada por la importancia que éstos mismos ofrecen, sino, porque con base en un trabajo contextual se puede cuestionar lo formativo de los contenidos y estructurarlo en el contexto de la enseñanza. Esto quiere decir que el sentido de lo formativo se encuentra en el significado que tienen los contenidos para el individuo de forma que éstos ayuden a su autorealización como persona de acuerdo a sus contextos y situaciones específicas, y a una liberación o emancipación del individuo como un ideal de la formación (*Bildung*). En este sentido, el *para qué* o *finalidades* como lo denominan Aduriz-Bravo, Izquierdo y Estany en la figura 9, no puede ser analizado según lo que el contenido metacientífico dicta en relación con los contenidos de las ciencias, además, tampoco se exponen criterios pedagógicos claros a propósito de los objetivos democráticos y morales que se deben resaltar en la tabla. De igual forma, el *cómo* o *formatos* no se puede aislar del plano de los objetivos formativos porque las decisiones metódicas también implican aspectos antropológicos y socioculturales.⁴⁵

Así las cosas, la pregunta no sólo debe ser el *¿Qué se aprende?* sino, *¿Para qué se aprende X o Y contenido?* *¿Para qué enseñar el trinomio cuadrado perfecto –qué– en un contexto de hambre y de violencia?* *¿Qué importancia tiene el respectivo contenido en la vida espiritual del educando?* *¿En qué consiste la importancia del tema para el futuro del educando?* *¿Cuál es la estructura del contenido?* *¿En qué contexto mayor se encuentra el*

⁴⁵ Este punto lo desarrollaré con detalle en el capítulo 4.

contenido? ¿Qué propiedades del contenido podrían hacerle difícil al educando su apropiación? ¿Cuáles son las situaciones, observaciones, modelos apropiados para que los educandos den respuesta de una manera autónoma sobre la estructura de ese contenido? (Klafki, 1985, 1991). Estas preguntas didácticas evidencian las falencias del enfoque de las didácticas específicas tal y como las he presentado aquí. Efectivamente, algunas de las falencias son renunciar al concepto de formación (Bildung), otorgarle a la didáctica una supuesta autonomía disciplinar, equipararla o reducir sus problemas a la enseñanza de contenidos y pretender resolver problemas pedagógicos desde la propia estructura conceptual de los contenidos.

Lo anterior orienta la discusión, en primera instancia, a la forma como se entiende la didáctica. Finalizaré con algunos elementos clave que se derivan de lo abordado en este capítulo y que dan lugar a concretar mi propuesta de una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung).

La didáctica no se reduce a –ni es lo mismo que– la enseñanza, tampoco son estrategias o métodos. Es preciso entenderla como meta-análisis y referida a aspectos teóricos y a la experiencia práctica. Así las cosas, si se acepta que la didáctica de las ciencias es una disciplina de segundo orden, entonces ella también puede ser meta-analizada.

La idea de la didáctica como meta-análisis la construyo con base en los planteamientos de Karl-Heinz Flechsig y Wilhelm H. Peterßen. Flechsig (1996) propone tres niveles de reconstrucción didáctica, a saber, (1) descripciones prácticas (Praxisbeschreibungen), (2) modelos de enseñanza (Unterrichtsmodelle) y (3) modelos categoriales (Kategorialmodelle).

Las descripciones prácticas son reconstrucciones de primer nivel que permiten una reconstrucción detallada del evento, por ejemplo, un curso o una situación de enseñanza. Una descripción de la práctica es, por lo tanto, el documento de un solo caso que contiene una variedad de descripciones fácticas. Esta descripción de la práctica va seguida del modelo de enseñanza. Éstos son reconstrucciones de segundo nivel, son reconstrucciones de reconstrucciones de primer nivel. Aquí se reconstruyen los eventos de enseñanza al agrupar un gran número de descripciones de prácticas singulares en una clase, distinguiendo así las

formas individuales de enseñanza de las demás. Sin embargo, también capturan las características comunes de cada conjunto de descripciones de práctica asignadas a la misma clase. Las reconstrucciones que emergen aquí, por ejemplo, enseñanza por exploración, enseñanza frontal o tradicional, taller, etc., pueden ser abstractas porque representan multitud de casos (temas, edades, etc.) pero también pueden ser concretas y usarse directamente para el diseño de la práctica. En consecuencia, los modelos de enseñanza se utilizan en el análisis y planificación de la enseñanza, dado que permiten analizar y organizar descripciones prácticas de casos individuales como construir planes de casos individuales.

Por su parte, los modelos categoriales son reconstrucciones de tercer nivel. Sirven para determinar –categorialmente– lo que debe entenderse como enseñanza (actividad de enseñanza-aprendizaje). Un ejemplo de ello, aunque poco específico, es el triángulo didáctico considerado en las líneas anteriores. Los modelos categoriales permiten el desarrollo y la diferenciación de reconstrucciones de segundo nivel al proporcionar las categorías por las que deben realizarse tales reconstrucciones. De esta manera, constituyen el marco analítico (meta-teórico) para la generación de modelos de enseñanza, donde se identifican los criterios de evaluación y generación de éstos. Es decir, son orientadores para la construcción de modelos y por ello pueden ser analizados, modificados y evaluados. Como bien lo menciona Flechsig (1996), se trata de “recomendaciones para la acción de cartógrafos, no de capitanes”, en este sentido son modelos de teóricos para teóricos, no obstante, como a menudo éstos son usados por los profesores como ayuda para la planeación y acción de la enseñanza, sus actividades –de enseñanza– “tarde o temprano fracasan”.

La propuesta de Flechsig evidencia el siguiente aspecto de importancia para entender la didáctica como meta-análisis: los profesores, los autores de los modelos de enseñanza y los autores de los modelos categoriales siempre trabajan con una doble referencia:

- El profesor se mueve entre los conceptos proporcionados por los modelos de enseñanza y sus observaciones de las actividades reales de enseñanza.
- El autor de los modelos de enseñanza se mueve entre descripciones de casos de práctica individual ("documentos") y el modelo categorial, que le da las categorías con las que hace su reconstrucción.

- Y la “materia prima” de los teóricos es, por un lado, los modelos de enseñanza, por otro, las "visiones del mundo" o "metadisciplinas" (por ejemplo, teorías de sistemas, teorías del comportamiento, teorías del caos, etc.) que le dan sistemas de referencia científicos (o ideológicos). (Flechsig, 1996, p. 20)

La anterior caracterización permite plantear los niveles analíticos y meta-analíticos de la didáctica, como bien lo plantea Peterßen (2001) un nivel de la praxis, un nivel teórico referido a la praxis y finalmente un nivel meta-analítico o meta-teórico. Así entendida, la didáctica involucra todas las situaciones prácticas referidas a la enseñanza y el aprendizaje, teorías que guían esa práctica mediante elaboraciones conceptuales que por supuesto tienen una visión de lo que debería ser dicha práctica, por ejemplo, las investigaciones sobre aspectos específicos de la enseñanza –como los contenidos–, y el meta-análisis sobre sus propias corrientes, conceptualizaciones, límites y alcances de las teorías didácticas, orientaciones sobre las categorías con las cuales se construyen los modelos didácticos y diálogos y debates teóricos con otras disciplinas.

La teoría de las situaciones didácticas (TSD), el contrato didáctico y la transposición didáctica, resultan importantes porque permiten abordar las formas como los estudiantes se acercan y se apropian de saberes específicos. Esto responde al nivel teórico –téngase en cuenta el nivel meta-teórico del párrafo anterior– de la didáctica, es decir, al nivel de análisis sobre los momentos estructurales de la enseñanza.

De esta manera, si las didácticas de las disciplinas sitúan la especificidad de las situaciones de enseñanza-aprendizaje en su relación con los contenidos de enseñanza (Rickenmann, Soto y Angulo, 2012), la didáctica general aborda esos mismos contenidos pero con un propósito más elevado que es el de la formación (Bildung). Precisamente, la didáctica general, de tradición alemana, distingue contenidos (Inhalt) de contenidos formativos (Bildungsgehalt). Esta diferencia es importante para orientar los planteamientos y análisis didácticos hacia la formación (Bildung).

Integrar contenidos (Inhalt) con contenidos formativos (Bildungsgehalt) resulta ser una tarea compleja porque una pregunta sobre física clásica, física moderna y física

contemporánea, puede formularse de distintas formas y adquiere varios objetivos según los propósitos de formación de los enfoques pedagógicos. No es suficiente preguntarse por *qué contenido enseñar*, sino por preguntas orientadas al por qué enseñarlo, dónde, con qué métodos y medios, con quiénes, en qué marco institucional, qué habilidades de pensamiento se deben desarrollar, qué contenidos formativos y educativos, qué formas de secuenciación, cómo realizar un seguimiento a lo enseñado y nuevas alternativas para la enseñanza (Runge, 2013)

Como lo sostiene Klafki (1985, 1991), el contenido no es importante por sí mismo, sino en tanto transmite un sentido que puede hacerse explícito toda vez que el didacta se sitúe en el contexto que lo engloba, es decir, que mire los contenidos desde una perspectiva pedagógico-formativa. Es preciso recordar que hay una constante relación entre las didácticas especiales y la didáctica general, su única diferencia consiste en el grado de generalidad de sus enunciados. Las afirmaciones de la didáctica general, en este sentido, pueden pensarse para situaciones concretas de las didácticas especiales (Klafki, 1991). Esto evidencia una posible forma de relacionar, en la didáctica de las ciencias, los estudios metacientíficos con la didáctica teórico-formativa. En los siguientes capítulos mostraré esta relación.

3

La didáctica teórico-formativa de Wolfgang Klafki. Esbozo para la incorporación del concepto de formación (Bildung) en la didáctica de las ciencias

Por la didáctica teórico-formativa de Klafki entiendo su particular idea sobre una teoría y praxis –didáctica– que incluye decisiones orientadas a objetivos de formación, ideales de formación u objetivos pedagógicos que están guiados por el concepto de formación (Bildung):

En particular, la didáctica, en amplio sentido, abarca como investigación y teorización cuatro dimensiones fundamentales (esta esquematización tiene la influencia decisiva de la llamada didáctica berlinesa). Didáctica en sentido amplio, abarca entonces decisiones, condiciones y fundamentaciones para las decisiones sobre:

1. Objetivos (intenciones o propósitos) de la enseñanza.
2. Contenidos.

3. Las formas de organización y realización (donde la relación entre procesos de enseñanza y aprendizaje debe ser entendida como una relación de interacción). Esta es la perspectiva de la metódica.
4. Medios de la enseñanza. (Klafki, 1991, p. 87)

Adicionalmente, su orientación crítico-constructiva ⁴⁶ señala un desarrollo del enfoque teórico-formativo que no lo anula, dado que la didáctica crítico-constructiva se fundamenta en la didáctica teórico-formativa toda vez que ésta, inherentemente, tiene también un componente crítico. Así, la didáctica crítico-constructiva se orienta hacia una teoría abierta y evolucionable y, por lo tanto, sigue siendo una didáctica teórico-formativa. Con el término “crítico” Klafki se refiere a la formación de todos los niños, jóvenes y adultos para su autodeterminación,⁴⁷ codeterminación y solidaridad en todas las esferas de su vida, pero, al mismo tiempo, tomando en cuenta que la realidad de las instituciones educativas no se corresponde con ese objetivo. Por ello, la didáctica debe estudiar las razones y formas en que se manifiestan los obstáculos que se oponen a la enseñanza y el aprendizaje en relación con el logro de tales objetivos y, además, estudiar las posibilidades de realización, proyección, determinación y experimentación de esos procesos de enseñanza y aprendizaje. Con el término “constructivo” Klafki plantea tener presente continuamente la praxis, el interés por la acción y el cambio. De este modo la didáctica incluye teoría, modelos de praxis posibles, de instituciones más humanas y democráticas y su enseñanza correspondiente, así como la investigación sobre nuevas formas de relación entre teoría y praxis. En este sentido la didáctica crítico-constructiva se vincula con la investigación sobre los contextos sociales globales. Esta forma de entender la didáctica evidencia la inviabilidad de reducirla a

⁴⁶ La didáctica crítico-constructiva corresponde a los desarrollos de las últimas obras de Klafki, se puede asumir como una transición pero no como una invalidación del enfoque teórico-formativo dado que aquí tiene sus fundamentos.

⁴⁷ Klafki (2003) sostiene que “la autodeterminación significa la capacidad de una persona para decidir sobre su individualidad, sus asuntos personales, relaciones humanas y creencias con base en sus convicciones y juicio. [...] Específicamente, es la síntesis individual de una serie de sub-facultades, sobre todo la facultad de obtener de forma autónoma puntos de vista, conocimientos, la facultad de formar los propios juicios y la capacidad de actuar de acuerdo a las propias ideas para emitir juicios”. Evidentemente se trata de una facultad muy exigente y compleja, por ello la didáctica en tanto subdisciplina de la ciencia de la educación, se orienta de una forma teórico-práctica hacia el nivel de las decisiones y el nivel de la planificación y la ejecución, ambos orientados por objetivos pedagógicos y criterios formativos (Klafki, 1995b).

metódicas, estrategias o sólo a la pregunta por *qué* contenidos son más importantes –según los desarrollos de las ciencias naturales– para ser enseñados.

Ahora bien, en esta teoría y praxis didáctica es fundamental distinguir entre contenidos (Inhalt) y contenidos con contenido formativo (Bildungsgehalt), que son aquellos que se corresponden con los ideales de formación. Klafki plantea, específicamente, que la didáctica está basada en la formación categorial. Esto quiere decir que propone un camino distinto al objetivismo de las teorías formales y materiales donde, en la formación y la enseñanza, los educandos se apropien de contenidos espirituales y elementales, de tal forma que emerja una mediación entre el mundo objetivo y subjetivo de los sujetos.

En el capítulo anterior he mostrado que la forma como se analizan los contenidos es insuficiente porque se renuncia a cuestionamientos formativos y, en consecuencia, se evidencia que la selección de contenidos se deriva estrictamente de criterios objetivos (objetivismo) o de su propia estructura conceptual. Debido a esto, este capítulo se limitará a mostrar los conceptos fundamentales para la investigación y análisis didáctico en la enseñanza de las ciencias, según el enfoque teórico-formativo y, por ende, a hacer evidente el papel articulador del concepto de formación (Bildung) en la didáctica de las ciencias. El propósito es ofrecer los elementos conceptuales necesarios para proponer la tesis de una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung) y, por lo tanto, mostrar las relaciones entre la didáctica teórico-formativa y los estudios metacientíficos.

El concepto de formación (Bildung) para la didáctica teórico-formativa

La didáctica teórico-formativa de Klafki está basada en el concepto de formación (Bildung) que, en principio, fue tomado de Humboldt para designar la relación entre los saberes que se deben transmitir y su carácter formador. También, se puede rastrear la importancia de este concepto para la pedagogía y la didáctica en las obras de Lessing, Kant, Herder, Goethe, Shiller, Pestalozzi, Schleiermacher, Herbart, Humboldt, Fichte, Hegel, Diesterweg, Fröbel, sobre todo porque fue un concepto crítico-progresista y socio-crítico que incluye la tesis central de la ilustración europea que busca, según Kant (2003), “la salida del ser humano de la minoría de edad provocada por él mismo”. En efecto, Klafki sostiene que

el concepto de formación históricamente ha guardado un carácter crítico con un potencial socio-crítico. Este concepto se halla “en la corriente de una determinada crítica social y cultural que se puede comprobar a partir de Rousseau y Herder hasta Hegel” (Klafki, 1985, p. 251).

A mi modo de ver, el argumento histórico que ofrece Klafki sobre la pertinencia del concepto de formación (Bildung) para la didáctica es bastante fuerte. La razón es que su carácter socio-crítico cuya emergencia se ubica entre 1770 y 1830, indica que todos los seres humanos tienen el derecho y la posibilidad de alcanzar la capacidad de auto-determinación y, además, la idea de que cada ser humano tiene el derecho al apoyo pedagógico de todas sus posibilidades (Klafki, 1985).

Debido a lo anterior, Klafki propone que la tarea actual es “volver a elaborar ese elemento crítico, desarrollarlo y referirlo a las condiciones históricamente cambiadas del presente, y a los posibles desarrollos futuros” (Klafki, 1985, p. 251).

En las líneas anteriores se puede apreciar que el concepto de formación (Bildung) no se refiere a educar, por eso las preguntas formativas que analizaré más adelante tienen un propósito más elevado que la mera instrucción a través de contenidos. Como bien lo plantea Herder: ““formación” no educación, doctrina, sino efecto vivo del enseñar y actividad del formarse, y no sólo del hombre individual, sino de todo el pueblo y la humanidad” (Citado en Vierhaus, 2014, p. 14). Efectivamente, Bildung tiene un vínculo estrecho con las ideas de desarrollo e individualidad, incluso para el contexto alemán del clasicismo, el romanticismo, el idealismo y el neohumanismo, tuvo un acercamiento a conceptos como “espíritu”, “cultura” y “humanidad” de tal forma que pudo superar los campos semánticos de “educación”, “ilustración” y “progreso” (Vierhaus, 2014). Se trata de un concepto central y teleológico que apunta a un ideal de hombre y su mejoramiento, teniendo en cuenta su desarrollo espiritual, corporal e intelectual. Así lo plantea Hegel, puesto que el hombre en tanto ser natural se comporta de una forma contingente, subjetiva; no obstante, es un ser espiritual, racional. Aquí se encuentra la necesidad de armonizar su doble vertiente, a saber, “adecuar su singularidad a su dimensión racional o hacer que la última sea la dominante” (Hegel, 2000). Esto quiere decir que el concepto de formación (Bildung) se refiere al modo “específicamente humano de dar forma a las disposiciones y capacidades naturales del

hombre” (Gadamer, 2003). Según lo anterior, un contenido a enseñar sólo es un medio para un fin, porque al contrario de la apropiación de contenidos, en la formación, como lo sostiene Gadamer, uno se apropia por entero aquello en lo cual y a través de lo cual uno se forma (Gadamer, 2003).

En la didáctica teórico-formativa tiene vital importancia el carácter histórico de este concepto y su evidente papel crítico. De hecho, Klafki acentúa este papel crítico influenciado por la Teoría Crítica de la Escuela de Frankfurt pero, a diferencia de éstos, propone un nivel constructivo en el que la Pedagogía debe cambiar la educación y la enseñanza orientado a ofrecer posibilidades mejores, las cuales deben ser comprobadas mediante investigaciones empíricas (Klafki, 1985; Runge, 2008). Es por ello que la didáctica teórico-formativa no se reduce a contenidos (Inhalt) sino, que incluye los problemas contemporáneos que se derivan de ellos y que están asociados con asuntos políticos, sociales, culturales, científicos, ambientales, etc.

Klafki (1985) lo sostiene así:

Las decisiones didácticas son el resultado del enfrentamiento entre "poderes intelectuales y/o sociales" (iglesia, ciencias, partidos políticos, economía etc.) o en otras palabras: son decisiones tomadas por los pedagogos o políticos responsables en el contexto del enfrentamiento de "los poderes intelectuales y/o sociales" por decidir los objetivos y los contenidos de la enseñanza. (p. 87)⁴⁸

[...] los planteamientos y contextos didácticos –tal como la teoría y la praxis de la educación en general– están relacionados estrechamente con las condiciones y los procesos económicos, sociales, políticos y culturales, lo que llamamos aquí "socio global". (p. 109)⁴⁹

⁴⁸ Didaktische Entscheidungen sind das Ergebnis der Auseinandersetzungen "geistiger" bzw. "gesellschaftlicher Mächte" (Kirche, Wissenschaft, politische Parteien, Wirtschaft usw.) oder genauer: Sie sind Entscheidungen, die von den bildungspolitisch und pädagogisch Verantwortlichen angesichts der Auseinandersetzung "geistiger" bzw. "gesellschaftlicher Mächte" um Ziele und Inhalte des Unterrichts gefällt werden (Klafki, 1985, p. 87).

⁴⁹ [...] didaktische Fragestellungen und Zusammenhänge - wie pädagogische Praxis und Theorie der Erziehung im ganzen - in umgreifende ökonomische, soziale, politische, kulturelle Verhältnisse und Prozesse verflochten

Así las cosas, la didáctica teórico-formativa que se encuentra en el nivel crítico-constructivo, mantiene una apertura a temas potencialmente emancipatorios, y los contenidos instrumentales los justifica desde dichos temas que son necesarios para los estudiantes. Por este motivo la formación general tiene tanta relevancia en los planteamientos didácticos y adquiere un carácter articulador. Al respecto, Klafki (1985) dice:

Como muchos representantes de la Escuela de Frankfurt, representantes de la filosofía social y muchos científicos de la educación creo que la renuncia al concepto de formación, en el contexto de la didáctica y de la planeación de la clase, no es necesaria ni recomendable e incluso podría tener consecuencias negativas. Una categoría central como el concepto de formación o un concepto semejante, es indispensable para que los esfuerzos pedagógicos no se disuelvan en actividades independientes. La necesidad se refleja en algunas teorías pedagógicas y críticas más recientes que renuncian parcialmente al concepto de formación, pero ponen en su lugar conceptos como "emancipación" o "capacidad de auto y codeterminación". Estos y conceptos similares deben tener los mismos efectos estructurales, porque determinan categorías mayores de orientación y evaluación para las medidas de influencia pedagógica. (p. 252)⁵⁰

Teniendo en cuenta la riqueza conceptual –y práctica– del concepto de formación (Bildung) para el análisis didáctico, se puede afirmar que los contenidos que se pretenden

sind; abkürzend nennen wir dieses umgreifende Beziehungsgefüge hier "gesamtgesellschaftlich" (Klafki, 1985, p. 109).

⁵⁰Mit einer Reihe von Autoren - sowohl Vertretern der Frankfurter Schule der Gesellschaftsphilosophie wie Erziehungswissenschaftlern - bin ich der Auffassung, daß der Verzicht auf den Bildungsbegriff, hier: innerhalb der Didaktik und der Unterrichtsplanung, weder notwendig noch empfehlenswert ist, ja bedenklichste Konsequenzen haben könnte. Eine zentrale Kategorie wie der Bildungsbegriff oder ein Äquivalent dafür ist unbedingt notwendig, wenn die pädagogischen Bemühungen nicht in ein unverbundenes Nebeneinander von Einzelaktivitäten auseinanderfallen sollen. Diese Notwendigkeit erweist sich auch daran, daß in manchen neueren, jedenfalls in sich kritisch verstehenden pädagogischen Theorien zwar zum Teil auf den Bildungsbegriff verzichtet wird, aber nicht im Sinne einer gleichsam "ersatzlosen Streichung", sondern so, daß an seine Stelle, aber in analoger Funktion, andere Zentralbegriffe treten. Begriffe wie "Emanzipation" oder "Selbst- und Mitbestimmungsfähigkeit" im Sinne oberster Lernziele oder allgemeinsten Prinzipien für Lernzielbestimmungen sollen strukturell genau das gleiche leisten wie die Kategorie der Bildung; sie bezeichnen nämlich zentrierende, übergeordnete Orientierungs- und Beurteilungskategorien für alle pädagogischen Einzelmaßnahmen.

enseñar atendiendo a su “facticidad objetiva” como lo señala Blankertz (1981), pasan a un segundo plano –lo cual no quiere decir que se excluyan–, para ser vistos con miras a la formación (Bildung) de las personas.

Las teorías de la formación en la didáctica

Wolfgang Klafki utiliza el concepto de formación categorial para distinguirlo de las teorías de la formación formal (formale bildungstheorie) y material (materiale bildungstheorie) que se han enfocado en el enciclopedismo y, por lo tanto, han dejado de lado el análisis sobre lo formativo de los contenidos. Como se pudo observar, las propuestas didácticas analizadas en el capítulo dos se corresponden con estas últimas en tanto dotan de cierta validez incuestionable a los contenidos, los desliga de su historicidad y significado, y excluyen cualquier criterio formativo de selección.

Teorías de la formación material

Las teorías de la formación material tienen como punto de inscripción el objeto. Se enfocan en el enciclopedismo entendiendo la formación como una apropiación de muchos saberes. En la medida que su punto focal son los contenidos, considera que sólo aquellos están provistos de carácter científico son pertinentes para su enseñanza. En este sentido, hacen que las cualidades humanas dependan de unos contenidos muy específicos que han sido apropiados.

Para Blankertz (1981) el enciclopedismo del que parte esta teoría es, desde el punto de vista didáctico, irrealizable, dado que hay una inagotable fuente de contenidos culturales que por sí mismos no señalan ningún criterio de selección. En efecto, tal concepción material sólo es efectiva en “formas restringidas” como el científicismo, donde se toma como referencia la estructura científica del contenido, que en otros lugares he llamado su estructura conceptual, para percibir lo que tiene validez en general (Blankertz, 1981). Estoy de acuerdo con Blankertz en que este enfoque no tiene ninguna orientación formativa porque ésta no obedece a las mismas dinámicas de la ciencia, aquí lo que surge es un científicismo didáctico que pone en tensión la comprensión formativa con el desarrollo particular de las ciencias.

El supuesto básico de esta teoría, entonces, es que los contenidos se aceptan como algo dado e incuestionable por la objetividad que presentan y se tiende a organizarlos de forma enciclopédica, en consecuencia, emerge un determinado canon de contenidos que constituye la “formación” de las personas. Sin embargo, una variante de la concepción material es la teoría de lo clásico (*Bildungstheorie des Klassischen*). Con ella se busca otorgarle sentido formativo a los contenidos que han resultado ser inmutables en cientos de años y que reflejan “la inteligencia ideal de sí” de una cultura, en los que la sociedad venera, conserva y transmite las ideas rectoras de la vida de su espíritu (Klafki, 1975). Al respecto Blankertz (1981) sostiene:

El pensar alemán sobre la formación está marcado por esta concepción desde la época del clasicismo y del neohumanismo. Los grandes contenidos comprobados, producidos por la vida misma y que representan la vida en su verdad, se consideran desde entonces como presupuesto material de la formación. (p. 173)

Ahora bien, es claro que la comprobación de los contenidos es resultado de juicios del pasado, por lo tanto, desde el punto de vista didáctico la teoría de lo clásico es insuficiente en esta concepción material, en tanto se excluye el papel crítico-constructivo característico de la didáctica teórico-formativa y, en general, de la didáctica. Con esta teoría sólo se busca formar a las personas según los contenidos clásicos de disciplinas específicas, de ahí que Klafki le critique a esta teoría su ausencia analítica sobre lo significativo de los contenidos. En síntesis, se puede decir que esta teoría tiene tres vertientes: a) el enciclopedismo orientado a entender la formación según la apropiación de muchos saberes, b) el cientificismo donde se considera que lo formativo sólo es aquello provisto de carácter científico y c) la teoría de la formación de lo clásico que sugiere que formarse es apropiarse de los contenidos clásicos de una disciplina.

Teorías de la formación formal

Las teorías de la formación formal tienen como punto de inscripción al sujeto. Son dos sus puntos centrales: a) la teoría de la formación funcional (*funktionale bildungstheorie*)

que sostiene que una persona formada es aquella que despliega sus fuerzas interiores y b) la teoría de la formación metódica (*methodische bildungstheorie*) que propone que formado es aquél que ha aprendido a aprender y domina capacidades instrumentales y procedimentales (Runge, 2008).

El sentido funcional se inscribe en que al desarrollarse las capacidades básicas del hombre, que son para Jank y Meyer (2008) capacidades físicas, mentales y espirituales, “cada nueva ocupación venga a ser ya algo así como una mera repetición” y, el sentido metódico apunta a poner al alcance de los estudiantes todos los medios y métodos para lograr apropiarse de los conocimientos y adquirir juicios al respecto (Blankertz, 1981, Jank & Meyer, 2008). Como se puede observar, esta teoría, desde un punto de vista pedagógico, se encuentra más cerca de los aspectos formativos que la teoría material dado que se orienta a los intereses y el futuro de los estudiantes. Precisamente, indica que una persona está bien formada únicamente por el conocimiento de cómo debe uno aprender –perspectiva metódica– y por el reconocimiento de sus capacidades y su despliegue –perspectiva funcional–. Para Klafki (1975), el objetivo de esta teoría es el dominio y desarrollo de los métodos mediante los cuales las situaciones de la vida pueden ser manejadas en el futuro. Esto es, que la combinación de ambas teorías es fundamental para considerar a alguien formado.

Al enfocarse en el sujeto, esta teoría no piensa la formación según el significado objetivo de los contenidos, no obstante ello no implica que excluya la importancia de éstos, quiere decir que sólo les atribuye relevancia pedagógica si y sólo si su asimilación propende y contribuye el desarrollo de las capacidades individuales (Blankertz, 1981).

Sin embargo, a pesar de su riqueza en relación con la teoría material de la formación, la teoría funcional no es adecuada para desarrollar una teoría didáctica. De un lado, y como lo sostiene Blankertz (1981), esta teoría “le atribuye a la didáctica un impulso ahistórico, ajeno a la realidad”, y es precisamente porque los contenidos formativos no se pueden seleccionar arbitrariamente o “únicamente en consideración con su valor formal”. Adicionalmente, es necesario el aspecto material, como ejercitar el pensamiento lógico en las matemáticas o en la gramática latina, ya que éstos no sólo actúan en el proceso de apropiación con su fuerza formal sino, también, con su fuerza material.

Por otro lado, Klafki (1975) critica las teorías formales de la formación porque no evidencian una postura clara frente a los contenidos, esto es, que ofrezcan los criterios que podrían ayudar a la formación de los individuos. Para Klafki (1985), tanto los métodos como las formas están subordinadas a la adquisición de contenidos que han sido abordados estrictamente de manera formal, y que llevan a una acumulación de conocimientos no comprendidos y técnicas sin sentido.

Como lo dije en líneas anteriores, uno de los problemas centrales de las teorías formales es que no tienen en cuenta que las capacidades del hombre deben ser ejercitadas en relación con el objeto –con el mundo–. El problema que se evidencia aquí es la dicotomía entre sujeto-objeto. Mientras que las teorías de la formación material prescinden del sujeto, las teorías de la formación formal lo hacen con el objeto. Klafki (1975) menciona que sólo en relación con un determinado contenido adquieren sentido tales capacidades, y por ello su propuesta formativa se enfoca en superar esta división mediante una síntesis no-aditiva (*nichtadditive synthese*) fundamentada categorialmente.

El concepto de formación categorial de Wolfgang Klafki

El resultado de las teorías anteriores evidencia la necesidad de superar la dicotomía porque la formación desde el enfoque didáctico sólo puede ser entendida a través de una *categoría* mediadora entre el mundo objetivo y la subjetividad del individuo. Klafki ve la síntesis de la formación material y formal en la formación categorial. Es una síntesis no-aditiva porque no asume estas teorías como mera adición, como en el caso de la teoría funcional con la metódica o de la material con la clásica, sino como necesarias en tanto forman parte de un todo, dado que estas teorías tomadas de forma separada son falsas.

La teoría de la formación categorial es, entonces, la propuesta alternativa de Klafki para superar las deficiencias de las teorías formales y materiales. Tiene como punto de inscripción los tres movimientos del sistema hegeliano, por ello fundamenta dialécticamente la relación que se establece entre el Yo y el No-Yo, el hombre y el mundo, el niño y la materia (Runge, 2008).

Según lo anterior, la unidad de los momentos materiales y formales se expresa en un “estado de apertura de una realidad a una persona y estado de apertura de esta persona a su realidad” (Klafki, 1975, p. 43). Esto quiere decir que “los seres humanos se forman cuando se apropian categorialmente de la realidad cultural para, en ese mismo movimiento, abrirse igualmente a esa realidad” (Runge, 2008, p. 171-172).

Para poder garantizar la formación, hay que exigirle a los contenidos de enseñanza que sean representativos, que faciliten una comprensión crítica del mundo y, como lo plantea Blankertz (1981), tanto en su función creadora de tradición como en la que apunta al futuro permitan un sentido experimentable. Es aquí donde la didáctica se orienta a propósitos más elevados, me refiero a la formación (Bildung) de los individuos. Mediante la relación dialéctica se supera la dicotomía sujeto-objeto y se le devuelve a la materia la importancia que la formación formal no le reconocía. Como lo sostiene Runge (2008,) “se trata de concebir lo otro, lo exterior como prerequisite dialéctico del Yo, y centrar el interés en la relación, como dominio del mundo y génesis de la persona” (p. 172).

El punto central es que las intenciones pedagógicas apuntan al aspecto subjetivo en la espontaneidad del espíritu individual, Klafki (1975) lo menciona como “el estar abierto de ese hombre para su realidad” en un sentido funcional y metódico, pero a la vez, tiene un punto objetivo de referencia, del mismo modo Klafki lo caracteriza como “el estar abierto a una realidad espiritual y objetiva”. La mediación no se da a través de los contenidos de las ciencias o de los contenidos de la formación clásica “considerados anacrónicos” (Klafki, 1985), se da a través de un enfoque hermenéutico a partir de esos contenidos. Blankertz (1981) justifica esta postura así:

Para poder encuadrar debidamente el asunto en cuestión partiremos del hecho, repetidas veces mencionado y sólo escasamente contestado en la literatura reciente, de que los problemas de didáctica especial no se pueden resolver en el plano de las respectivas ciencias, ni mediante reducción material, ni mediante simplificación psicológica o mediante una acomodación tocante al método de enseñanza. (p. 180)

Así las cosas, el modo para buscar lo formativo de los contenidos es la hermenéutica. Esta no se debe entender como un método, sino como una característica de las ciencias del espíritu que permite acercarse a la verdad y es la búsqueda misma de la verdad (Runge, 2008). Como lo plantea Dilthey (2000), toda manifestación humana debe ser comprendida y la vía para esa comprensión-interpretación, es la hermenéutica. De esta manera, de lo que se trata es de buscar qué es lo importante que se encuentra en los contenidos desde el punto de vista pedagógico, o atendiendo al argumento de Klafki, tratar de explotar el “Gehalt” del “Inhalt”, es decir, lo formativo que se encuentra en los contenidos. El didacta o el maestro se apropian de un contenido y deben reconocer en él lo significativo con el fin de contribuir a la formación (Bildung) de los estudiantes.

El punto básico para entender la formación categorial es el uso filosófico de la palabra “categoría”, de ahí, además, que se evidencie la importancia filosófica y pedagógica de la formación y, como lo mostraré más adelante, su papel esencial para el análisis didáctico y la enseñanza. Las “categorías” (κατηγορία) son conceptos fundamentales con los que podemos comprender las propiedades de los fenómenos de la realidad y la cognición, piénsese en Aristóteles (substancia, cualidad, relación, cantidad, lugar, tiempo), en Descartes (mente, materia) o en Kant (de la cantidad, de la cualidad, de la relación, de la modalidad). Una característica principal de las categorías es que permiten conocer y comprender el mundo no como un proceso mecánico donde la realidad se le presenta al hombre sin más, sino como un proceso donde están en juego los datos sensoriales y la abstracción. De esta forma, se da la generación de conceptos o de categorías.⁵¹

Sin embargo, este uso filosófico es restringido porque no se ajusta a un uso formal en el sentido kantiano ni a un uso lógico en el sentido aristotélico. Klafki plantea que sólo tiene una definición general en común con las categorías filosóficas: describe una correspondencia o correlación de un momento objetivo-material y un momento subjetivo-formal (Klafki, 1957).

⁵¹ Para ampliar el estudio sobre la noción “categoría” se pueden consultar los diccionarios: The Cambridge Dictionary of Philosophy de Audi (2015), Diccionario Akal de Filosofía de Audi (2004) y The Oxford Companion to Philosophy de Honderich (2005).

Ahora bien, se denomina formación categorial porque los estudiantes se apropian de categorías (ideas, experiencias y vivencias), es decir, de conceptos fundamentales que sirven como presupuestos básicos para comprender el mundo, y que pueden utilizar y aplicar autónomamente (Runge, 2008). De este modo, no se trata sólo de contenidos concretos que, como se ha visto, están subordinados a los criterios de las ciencias y no a criterios pedagógicos, sino de contenidos que son producto de una interacción con el mundo donde se reconoce lo implícito de éstos. Ese devenir de los contenidos del lado de la realidad es lo que Klafki llama la consecución de categorías del lado del sujeto (Klafki, 1975). La formación es, entonces, la forma categórica en el doble sentido que el hombre está abierto a una realidad espiritual y objetiva e igualmente estar abierto para su realidad (Klafki, 1975).

Con base en la formación categorial el didacta y el maestro deben cuestionar e indagar sobre las formas en que, en la enseñanza, los estudiantes se puedan apropiar de contenidos culturales elementales y fundamentales, a esos contenidos que forman al estudiante y le transmiten las categorías Klafki les llama *elementaria*. Así, un contenido cultural particular le pondrá al estudiante un asunto general, de ahí que el estudiante no se enfoque sólo en contenidos concretos sino, también, en reconocer en ellos lo general implícito (Runge, 2008). Aquí se observa la primacía de la didáctica en relación con la metódica, como lo plantea Klafki (1991):

los elementos existen sólo como caminos hacia determinados objetivos y el hecho de que un camino sea correcto o falso, adecuado o inadecuado, exitoso o no, depende de si conduce al objetivo; se debe conocer el objetivo para poder decidir sobre el camino. (p. 89)

Esto quiere decir que los métodos se pueden considerar toda vez que emerjan las decisiones didácticas previas, esto es, decisiones sobre objetivos y contenidos, dado que los métodos siempre llevan consigo presupuestos didácticos. El análisis didáctico, en consecuencia, incluye en ese momento dialéctico del sujeto y el mundo, tres dimensiones: lo elemental, lo fundamental y lo ejemplar. A partir de aquí se identifican conceptos básicos para adquirir conocimientos que se correspondan con propósitos más elevados en la enseñanza, a saber: la formación (Bildung).

Los tres principios para el análisis didáctico: lo elemental, lo fundamental y lo ejemplar

Estas tres dimensiones son importantes, en primer lugar, porque se erigen como características propiamente pedagógicas y didácticas y, en segundo lugar, porque justifican el análisis didáctico de los contenidos. Aquí es donde se hace evidente lo que en las propuestas didácticas analizadas en el capítulo anterior se dejaba de lado, a saber, que los aspectos pedagógico-formativos no se subordinan a la estructura conceptual de los contenidos o a las dinámicas inherentes a la práctica científica, sino que, en efecto, vienen a ser los criterios didácticos en perspectiva formativa los que orientan el análisis didáctico. De otro lado, estas características juegan un papel decisivo en la planeación didáctica y evidencian un problema que, a mi modo de ver, es crucial en la didáctica de las ciencias y en la enseñanza y, que como se observó en el capítulo anterior, escasamente ha sido abordado precisamente porque los problemas sobre la selección de contenidos están determinados por lo que dictan las propias ciencias, las cuales tienen dinámicas que son totalmente ajenas a los propósitos formativos y educativos. Me refiero a que no todos los contenidos son pertinentes para ser enseñados y que su selección no depende de la validez otorgada por la comunidad científica. Los contenidos se deben seleccionar atendiendo a estas tres dimensiones que pasaré a explicar y sometiéndome, por supuesto, a los criterios formativos que he analizado. De esta manera, y como lo plantea el profesor Runge (2008):

mientras las ciencias ofrecen información y competencia con respecto al objeto (contenido), la didáctica crea las condiciones para que ese objeto, ese contenido, se transforme en un contenido formativo en el sentido de una formación categorial que incluya lo material y lo formal, el sujeto y el mundo.
(p. 176)

Precisamente, se trata de mostrar que las ciencias no atienden a criterios de selección didácticos y, tampoco, se pueden tomar decisiones didácticas sin atender a las respectivas ciencias particulares. Es aquí donde la didáctica de las ciencias debe desarrollarse, a saber, en el campo donde se relacionan las ciencias de la educación y las ciencias, o la didáctica general y las distintas ciencias (Klafki, 1985).

Según Klafki (1985), el concepto *elemental* se refiere a la forma en que debe ser posible la estructuración de un objeto, una problemática o un tema a través de la mediación entre los intereses, preguntas y condiciones de los niños y jóvenes por un lado y, de otro, la forma “objetiva”, compleja y diferenciada de los “objetos”, problemas y temas respectivos de la realidad estética, científica, social y política de los adultos. Se trata de identificar un principio con validez general que pueda ser aplicado a otros contenidos. Con lo *fundamental*, Klafki se refiere a una relación entre hechos problemáticos “objetivos” y el educando. Se trata de principios o experiencias más generales que utilizamos para comprender y estructurar las “esferas” de la relación entre el ser humano y la realidad. Finalmente, en lo *ejemplar* se expresa la unión de lo *fundamental* y lo *elemental* mediante un muy buen ejemplo que consigue ser impactante en los educandos. De esta manera, los ejemplares no son contenidos aislados y restringidos sino que permiten expandir el campo de posibilidades para dar apertura a otros contenidos. Aquí se logra un aprendizaje formativo toda vez que los educandos mediante los ejemplos elegidos consiguen elaborar conocimientos generales, o bien, con conocimientos, habilidades y actitudes que se dejan generalizar los educandos se pueden acercar a la solución de fenómenos más complejos que tienen una estructura similar. La efectividad de los conocimientos, capacidades y comprensiones generales adquiridas a través de los ejemplos, es lo que Klafki llama formación categorial (Klafki, 1985).⁵²

Sólo si los contenidos se ponen en el contexto de los anteriores tres principios se justifica el análisis de la estructura del contenido. De ahí que, como lo he venido diciendo, sean los criterios pedagógico-didácticos los que orienten el análisis y no la propia estructura conceptual de los contenidos.

Elementaria

He señalado que el estudiante no se enfrenta sólo a un contenido concreto, sino que reconoce en él lo general implícito, el contenido general que éste contiene. El concepto

⁵² En las obras finales de Klafki se encuentra una modificación con respecto a los niveles de estos tres principios. En éstas obras Klafki le otorga un nivel preponderante al “significado ejemplar” de los contenidos. Sin embargo, aclara que lo fundamental y lo ejemplar siguen designando problemas esenciales en el contexto de la formación y la educación (Klafki, 1985).

“elemental”, de esta manera, es importante porque con él se logra mediar y transmitir experiencias significativas para los educandos que hacen posible, precisamente, la premisa fundamental de este proceso categorial, a saber, que se abra el mundo al hombre y éste al mundo. Por ello se considera lo elemental como lo esencial de los contenidos donde se logra expresar lo general y lo particular de éstos, así, lo elemental sólo es válido didácticamente toda vez que se transforma en una experiencia formativa para los educandos (Klafki, 1957). En otras palabras, son nociones, formas o conceptos con los cuales los estudiantes dan estructura a un objeto, tema o problema (Klafki, 1985).

En su obra *Das pädagogische Problem des Elementaren und die Theorie der kategorialen Bildung* (1957) fue donde Klafki hizo mayor énfasis en el concepto de lo elemental. Allí indica que lo elemental o *elementaria* tiene diversas manifestaciones:

- a) Lo *fundamental* sólo se puede experimentar mediante vivencias. Klafki (1957, p. 443) plantea que las experiencias fundamentales (*Grunderfahrung*) y las vivencias fundamentales (*Grunderlebnis*) no se pueden definir, éstas deben ser desplegadas a partir de situaciones específicas. Su fuerza resulta de unos estados atmosféricos y de ánimo cuya interpretación conceptual es difícil de lograr.
- b) En lo *ejemplar* algo general se experimenta con lo particular. Es un momento donde de lo general se abstrae lo particular, para lo cual es necesario un acercamiento a casos o ejemplos específicos. Como lo plantea Klafki (1957, p. 444), no se trata de un caso o un ejemplo arbitrario, se trata del ejemplo determinante para que el educando pueda acceder a lo general de una forma sencilla.
- c) En lo *típico* lo general se experimenta en lo particular y se muestra como un tipo. Lo *típico* como una forma pedagógica elemental, hace que un tipo sea revelado. En otras palabras, se basa en la relación donde lo general se define como un tipo y lo particular como un fenómeno concreto de ese tipo (Klafki (1957, p. 445). Por ejemplo, se puede experimentar la pintura neoclásica observando *La muerte de Sócrates* de Jacques-Louis David.

d) En lo *clásico* lo general se experimenta a partir de un valor. Esta forma, a diferencia de lo *típico* y lo *ejemplar*, se caracteriza porque está acompañada de una valoración y sólo cuando se percibe el valor puede convertirse en contenido formativo. Klafki (1957) sostiene que

“lo general de lo clásico es siempre una actitud o un logro humano válido, ejemplar, vinculante. Pero más estrechamente que en el caso de lo *típico*, lo general aquí está conectado con lo particular, precisamente porque se trata de la actitud humana y el logro en lo *clásico*, lo general, que es inherente a ella, no se da sino en un particular individual. [...] La visibilidad de lo general en el individuo como un todo constituye el elemento esencial del contenido clásico”. (Klafki, 1957, p. 448)⁵³

e) En lo *representativo* lo general se experimenta como actualización. Esta forma pedagógica tiene un carácter histórico muy importante. En efecto, no se trata de una transferencia del conocimiento del pasado, sino una explicación de las características históricamente comprensibles del presente a ser dominado. La selección de lo que hay que recordar siempre es el resultado del presente y del futuro. Klafki describe tales contenidos como contra-imágenes de las tareas y posibilidades de hoy: periodos históricos completos, logros y dificultades que han permanecido ocultos para los educandos pero que están vivos para ellos a través de la representación de su carácter histórico (Klafki, 1957, p. 449-450).

f) Las *formas finales simples* en donde lo general se aprende en una realización de lo particular, sobresaliendo el carácter práctico de esta forma pedagógica. El término “formas simples” se relaciona con la propuesta de Andre Jolles (1971), quien identificó un conjunto de pautas mentales universales en el contexto de la literatura que los autores

⁵³ Das Allgemeine des Klassischen ist immer eine als gültig, vorbildlich, verbindlich erlebte menschliche Haltung oder Leistung. Aber enger noch als beim Typischen ist das Allgemeine hier dem Besonderen verbunden. Eben weil es im Klassischen um die menschliche Haltung und Leistung geht, ist das ihm einwohnende Allgemeine nicht anders als in individueller Besonderung gegeben; [...] Das Sichtbarwerden des Allgemeinen im ganz Individuellen macht gerade das wesentlich Bildende der klassischen Inhalte aus (Klafki, 1957, p. 448).

respetaban con gran fidelidad, se caracterizaban porque su estructura era breve y sencilla. Ejemplos de estas formas simples son: caso, chiste, mito, cuento, leyenda, enigma, dicho, memorable, saga. Sin embargo, Klafki (1957) propone separarnos del significado literario y darle un sentido pedagógico. Así, cuando el contenido cumple una función práctica de la vida, la forma adecuada de elementalización suele ser la introducción como “*formas finales simples*”. Esta forma se orienta a una de las relaciones fundamentales “interior-exterior”, “contenido-forma”, “propósitos-medios”. Klafki plantea que siempre hay una dependencia del segundo nombre de la polaridad: “lo exterior de lo interior”, “la forma del contenido”, “los medios para lograr el propósito”. “Esto conduce a una consecuencia pedagógica ineludible: siempre es necesario despertar el interior, el contenido, el propósito como pregunta, un esfuerzo, un objetivo en el alumno para que la forma final pueda cumplir su sentido formativo” (p. 453).

- g) Las *formas estéticas simples* donde lo general se vuelve visible mediante lo único. Aquí los educandos pueden experimentar lo general en algo concreto que se les revela como experiencia única. Se trata de un nuevo concepto de forma que debe ser comprendido. Si “lo exterior de lo interior”, “la forma del contenido”, “los medios para lograr el propósito” son distinciones de las *formas finales simples*, para las *formas estéticas simples* es una constitución porque el sentido de la forma estética es la eliminación de tales distinciones.

Estas formas que acabo de caracterizar son llamadas por Klafki *elementaria*. Como se puede observar, su importancia se inscribe en que ellas permiten mostrar los contenidos concretos y propician la apropiación de lo general implícito en ellos. Es aquí donde la relación dialéctico-formativa del sujeto y el mundo se logra, puesto que en esa apertura del mundo al estudiante y del estudiante al mundo, emerge la adquisición de categorías que ellos pueden utilizar de forma autónoma para comprender el mundo. Esos contenidos que forman y transmiten las categorías son las he caracterizado y que Klafki denomina *elementaria*.

Sólo cuando un contenido se somete a los principios de lo fundamental, lo elemental, lo ejemplar y sus formas se justifica su análisis, evidenciándose así que es la didáctica y no las ciencias ni los estudios metacientíficos los que guían los cuestionamientos formativos. Por ello la planeación didáctica y la preparación de clase son tan importantes dado que no se

subordinan a las dinámicas de las ciencias ni a los medios y métodos respectivamente. Como lo sostiene Schulz (1971), la preparación de clase no se presenta como una situación enfocada en la estructura de los contenidos, sino que está constituida por presupuestos antropogénicos, intencionalidad, temática, metódica, elección de medios y presupuestos socioculturales. Estos seis momentos, desde la perspectiva de Schulz, dejan ver la clase como un suceso pedagógico intencionado donde las decisiones presuponen que las personas que participan en ella y que la “sociedad en que tiene la clase lugar”, están en cierto modo “dadas o dejadas”, y por ello la clase realiza una ayuda formativa en un sentido ya definido. En esta misma línea, Heinrich Roth (1972) señala la importancia de descubrir en los educandos “los principios vitales de su mayoría de edad, de su independencia, de su capacidad crítica y productividad, como energías y aptitudes germinantes”, después de haber intentado aclarar su realidad con el comportamiento de los adultos y contando con todos los medios y métodos, se puede decir que se ha conseguido un enfoque de investigación dirigido a lo que es decisivo pedagógicamente. Al igual que con los principios didácticos de Klafki, esta perspectiva le permite al didacta y al maestro distinguir qué objetos, disciplinas, tareas y métodos son realmente importantes o no en la educación en general y en la enseñanza en particular. Esto quiere decir que sólo cuando los contenidos se ponen en este contexto didáctico –y antropológico– se puede justificar su elección. Se trata de una investigación didáctica muy exigente que debe apuntar a la mediación entre los intereses actuales y las experiencias de los educandos, sus problemas actuales en el horizonte de su vida cotidiana, su futuro y las tareas individuales y las posibilidades de los adolescentes por otro lado (Klafki, 1995b).

En efecto, los anteriores argumentos justifican el análisis didáctico. En éste se plantean las preguntas para la selección y la estructura formativa de los contenidos, de modo que las ciencias ofrecen los insumos para analizar los contenidos (Inhalt) y la didáctica crea las condiciones para que tales contenidos (Inhalt) se conviertan en contenidos con contenido formativo (Bildungsgehalt) en el sentido categorial, que emerge como la síntesis no-aditiva que incluye lo material y lo formal, el sujeto y el mundo.

Como lo plantea Klafki (1957), debemos ser capaces de desarrollar propuestas de educación y formación en el sentido de lo elemental, lo fundamental y lo ejemplar, las cuales se fundan en el concepto de formación (Bildung). Esto podría sugerir cambios significativos

tanto para reformas educativas como para la labor educativa cotidiana. Sin embargo, aún estamos lejos de ese objetivo y tales reformas “en el sentido de la formación categorial apenas han iniciado” (Klafki, 1957, p. 458), pero sólo se podrán lograr si no renunciamos al concepto de formación (Bildung), porque “la renuncia al concepto de formación, en el contexto de la didáctica y de la planeación de la clase, no es necesaria ni recomendable e incluso podría tener consecuencias negativas” (Klafki, 1985, p. 252).

El análisis didáctico según el enfoque teórico-formativo

En el análisis didáctico el didacta y el maestro deben aclarar cuál es el sentido formativo de los contenidos que seleccionan. Precisamente este es el punto de inscripción del análisis didáctico, a saber, interpretar y estructurar los contenidos en relación con una práctica educativa. En este análisis Klafki le da relevancia más a los contenidos que a los métodos pero ello no quiere decir que no los incluya, dado que la didáctica como subdisciplina de la pedagogía involucra, además, la metódica, utilizada para problematizar las formas, medios y métodos pedagógicos. No se trata de una relación de subordinación de la metódica con la didáctica, se trata de una permanente interacción.

Al respecto, en sus ocho tesis sobre la didáctica, Klafki (1995b) advierte del error interpretativo y ya generalizado sobre la relación entre las disciplinas especializadas y las materias escolares, un error interpretativo asociado con la concepción errónea sobre la orientación de la enseñanza:

Parece entonces que las materias escolares son simplificaciones de ciertas disciplinas científicas: de la historia, de la física, de las matemáticas, etc. Y parece que la tarea de las didácticas específicas es establecer una relación directa entre las disciplinas científicas y ciertas materias escolares. (p. 98)

Para Klafki la situación es mucho más compleja y la tarea de la didáctica mucho más exigente porque debe, en tanto situación formativa, complementar el discurso de las ciencias, no se trata de una síntesis de las disciplinas científicas ni los criterios son legitimados totalmente por las mejores ciencias. Asimismo, la reducción de los contenidos a su aspecto material no puede ser posible en ningún nivel de enseñanza, debe ser un ejemplo conciso de

lo que las ciencias pueden proporcionar para el esclarecimiento de los problemas actuales. Aquí la enseñanza interdisciplinaria es necesaria. Por ejemplo, en los espacios escolares usualmente se presenta una concepción de la ciencia según su relativa y cuestionada autonomía en relación con asuntos expuestos en el primer capítulo llamados “externos”. No obstante, según Klafki tal presentación sólo conduce a crear una falsa conciencia de los hechos y de los procesos en la dinámica científica porque ésta está constituida por intereses financieros, institucionales, personales y colectivos. No es gratuito que por la financiación externa los descubrimientos científicos estén determinados. Estos elementos deben ser cuestionados y presentados también en los espacios formativos, si no se hace, los educandos se apropian de un progreso ingenuo de las ciencias y de una confianza acrítica sobre las declaraciones científicas. Por lo anterior, el análisis didáctico y la relación entre enseñanza y aprendizaje debe entenderse como un proceso de interacción⁵⁴ dentro de la didáctica crítico-constructiva. En ese proceso de interacción, los educandos, con el apoyo de los profesores, adquieren conocimientos cada vez más independientes para hacer frente a su realidad histórico-social de una manera reflexiva y activa (Klafki, 1995b).⁵⁵

Klafki plantea entonces que el didacta y el maestro someta los contenidos a cinco preguntas cuyas respuestas y análisis evidenciará y justificará si se pueden enseñar o no bajo los criterios teórico-formativos. Dicho de otro modo, si los contenidos no resisten ese análisis es porque no cuentan con potencial formativo.

La primera pregunta se enfoca en el significado ejemplar del contenido. La segunda se centra en la importancia actual del contenido para los estudiantes. La tercera se orienta hacia el análisis de la importancia que tiene el contenido para el futuro de los estudiantes. La cuarta apunta a la formulación de la estructura del contenido y la quinta pregunta hace énfasis en la asequibilidad del contenido (Klafki, 1977).

⁵⁴ Que sea un proceso de interacción indica que es un proceso social. Por ello, el propósito debe ser una educación social y no sólo una educación desde el punto de vista de los métodos de enseñanza (Klafki, 1995b).

⁵⁵ Para Klafki (1995b) el maestro también está involucrado en el proceso de aprendizaje en tanto no sólo conoce a sus alumnos sino que también pueden aprender cosas nuevas sobre el tema, repensando el tema en el aula pero también en la enseñanza, por ejemplo a través de aspectos originales que los educandos aportan sobre el tema o a través del análisis sobre las dificultades de comprensión que tienen los alumnos.

(Vorläufiges) Perspektivenschema zur Unterrichtsplanung

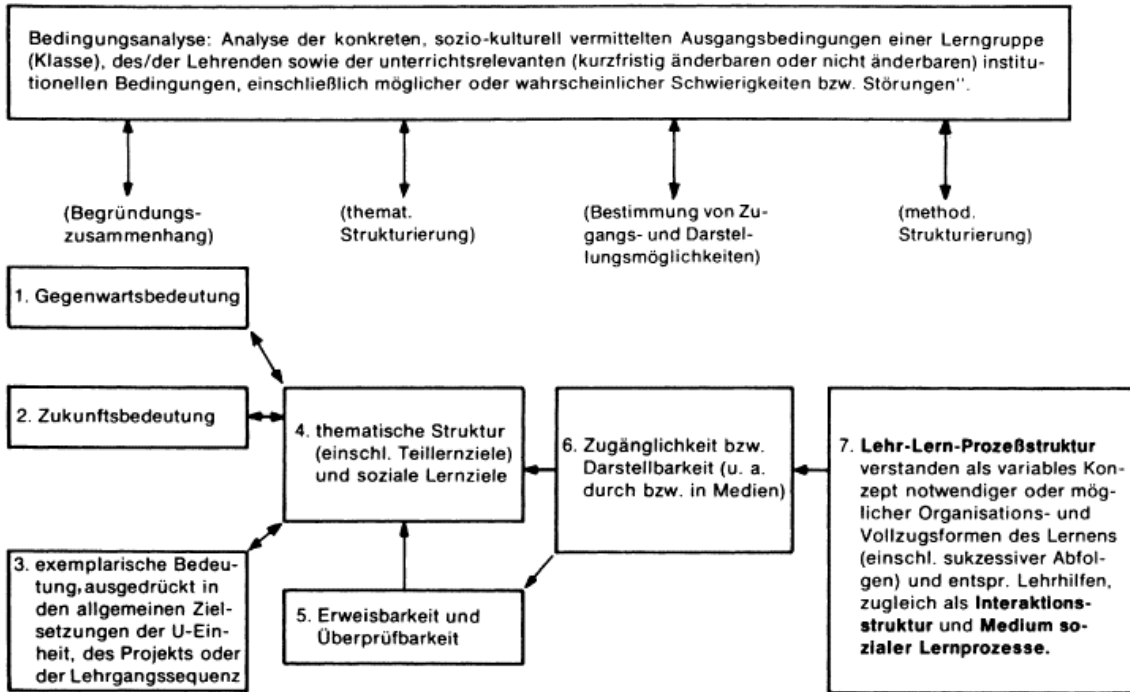
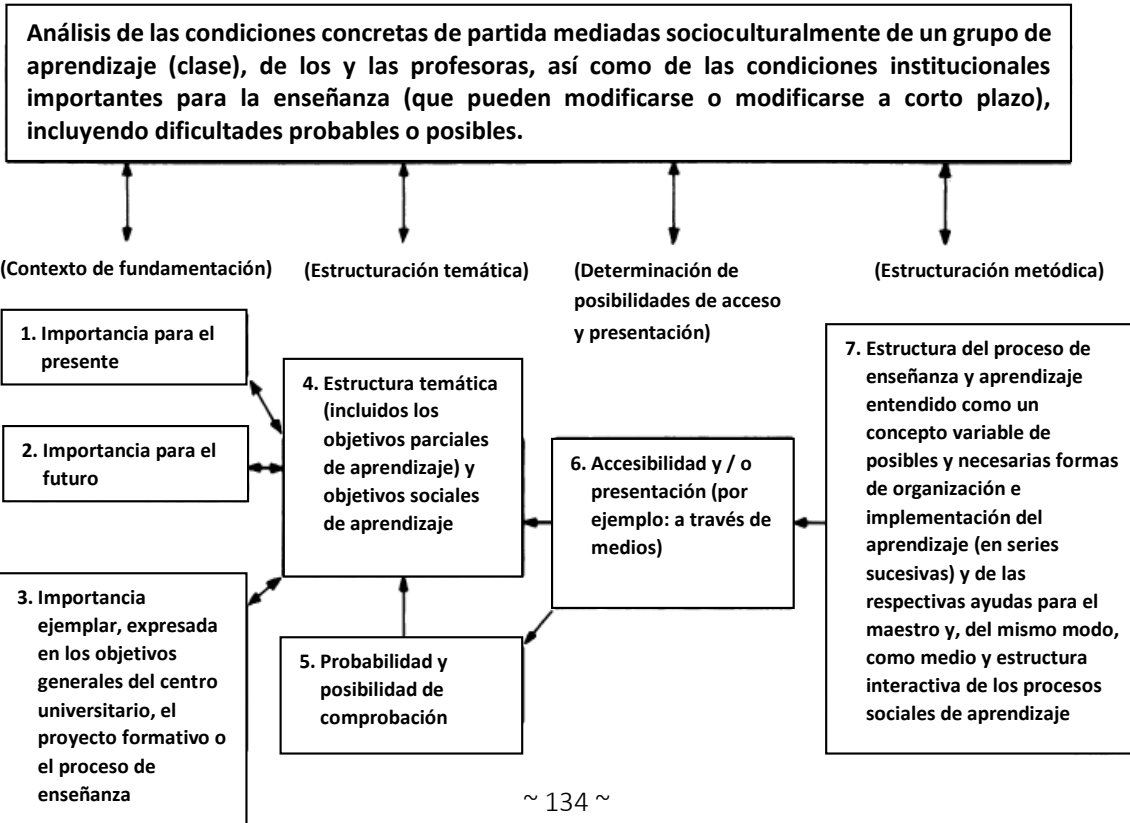


Figura 15
(Vorläufiges) Perspektivenschema zur Unterrichtsplanung
Tomado de: (Klafki, 1985, p. 272)

Traducción:

Esquema para la planeación de la enseñanza



En el artículo *Análisis didáctico como núcleo de la preparación de la enseñanza* (1995)⁵⁶ Klafki propone las preguntas didácticas:

I.El significado ejemplar del contenido: ¿Qué contexto general de sentido o del mundo soporta o abarca ese contenido? ¿Qué fenómeno fundamental, principio básico, criterio, problema, método, técnica, actitud se puede comprender de una manera ejemplar a partir de la relación con ese contenido? ¿De qué debería ser ejemplar, representativo, típico de ese tema? (p. 22)

Por ejemplo:

El motor del automóvil representa todos los motores de gasolina, un incidente particular de la colonización de las regiones del este de Europa por los alemanes para la colonización de Europa oriental en general, problemas específicos de aritmética encontrados por los banqueros para el cálculo de interés en general, etc.

¿En dónde se puede recoger y utilizar el aporte de ese tema en cuanto totalidad o en elementos particulares (apreciaciones, representaciones, conceptos valorativos, métodos de trabajo, técnicas)?

Cuando un niño del segundo grado aprende a cambiar el dinero de denominación pequeña en denominaciones más grandes, el proceso volverá a aparecer más tarde como un "elemento" en la comprensión de las operaciones aritméticas básicas en forma escrita. Los términos básicos de, por ejemplo, la historia y la ciencia que el niño aprende en la escuela primaria se aplicarán más tarde en las lecciones de la escuela secundaria. (pp. 22-23)

Estas preguntas se enfocan en cómo los principios generales se comprenden mediante situaciones específicas. Se debe, entonces, buscar lo fundamental de los contenidos ya que éstos pueden representar una variedad de temas para los estudiantes. Aquí se puede pensar,

⁵⁶ *Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung* (1962)

para el caso de enseñanza de la física,⁵⁷ en el *Versorium* como un instrumento que permite percibir los cuerpos electrificados, evidenciándose por medio de la construcción de este instrumento –que sería el caso particular– una idea general sobre la carga eléctrica y la interacción de los cuerpos electrificados que puede ser abordada más tarde en el campo del magnetismo.⁵⁸

II. Importancia para el presente: ¿Qué importancia tiene el respectivo contenido en la vida espiritual del niño o del educando? ¿Qué importancia debe tener ese contenido desde el punto de vista pedagógico?

Ejemplo:

Qué importancia tiene la electricidad, los animales, las tierras extranjeras, la música, los oficios, las historias, la iglesia, la fe, la religión, etc., para el niño fuera de la escuela y en qué sentido podrían o deberían ser significativos. (Klafki, 1995, p. 23)

Con estas preguntas Klafki no plantea que sea un asunto puramente de método. Lo que señala con ellas es que se debe saber si el contenido en cuestión puede y debe ser un elemento de importancia actual para la formación de los educandos, esto es, en sus vidas y en la concepción de sí mismos y el mundo, y en sus áreas de competencia. No obstante, hay que anotar, como lo mencioné en la primera parte de este capítulo, que el término formación (*Bildung*) no se refiere a escuela o educación, habilidad o comportamiento, sino al mundo espiritual de los educandos. Por ello la escuela debe ser entendida no como un simple espacio para la apropiación de saberes materializados, sino y como lo plantea Klafki (1995), “como un lugar de clarificación, purificación, consolidación, expansión, estímulo”. Si se tiene esto en cuenta, entonces la escuela ya no se agota en transmitir saberes, en su lugar, su tarea central sería preguntarse si esos temas/contenidos pueden cobrar importancia fuera de ella. Para el caso de la enseñanza de la física de partículas, es posible abordarlo desde un enfoque crítico: si bien permite la comprensión de las propiedades elementales de la materia y su interacción,

⁵⁷ En el capítulo cuatro haré extensivo este análisis con base en la noción de movimiento galileano abordada en este trabajo de investigación.

⁵⁸ Sobre algunas actividades de enseñanza que involucran el uso del *Versorium* se puede consultar el trabajo de Romero y Aguilar (2013).

está fuertemente relacionada con la energía nuclear y el desarrollo de armas nucleares, lo que no la hace ser un tema neutro –tampoco es posible hablar de temas neutros– sino, efectivamente, un tema constituido por intereses políticos, económicos, militares y sociales que tienen gran impacto en nuestra vida como sociedad, piénsese por ejemplo en el Proyecto Manhattan.

III. Importancia para el futuro: ¿En qué consiste la importancia del tema para el futuro del niño o del educando? (Klafki, 1995, p. 24).

Con esta pregunta se busca que los contenidos desempeñen un papel fundamental en las acciones futuras de los educandos. No se trata de un rol operativo o instrumental de los contenidos. Se trata de una tarea en la que el didacta y el maestro deben seleccionar adecuadamente unos contenidos que preparen a los educandos para un futuro que es incierto. Klafki (1995) plantea:

¿Este contenido desempeña un papel vital en la vida intelectual de los adolescentes y adultos en los que se convertirán los niños? ¿Están los niños conscientes de la relevancia del contenido para el futuro? ¿Se les puede aclarar o es tan difícil entender que no se puede explicar a los niños? (Klafki, 1995).

Como se puede observar, el trasfondo de estas preguntas son las situaciones críticas que pueden enfrentar los educandos en el futuro. En ese sentido, el didacta y el maestro deben anticipar por medio de tales contenidos cuáles conocimientos requerirían los educandos para resolver o desenvolverse en esas situaciones. Se trata de pensar para la enseñanza de la física, conceptos científicos o situaciones problemáticas de la investigación científica que permitan en un futuro enfrentar situaciones críticas, por ejemplo, la bomba de vacío de Boyle está diseñada con el propósito de extraer el aire de una cámara de vacío, no obstante Hobbes no estaba de acuerdo con ello porque, según él, era imposible generar vacío y no era adecuado sustentar el conocimiento empíricamente. Para la fabricación de este hecho experimental, Boyle utiliza la tecnología material, social y textual como recursos que involucran instrumentos y diversas formas de testificación, con las cuales se puede elaborar una teoría científica. De este modo, se puede analizar, en la enseñanza de la física, que “las soluciones

al problema del conocimiento están asociadas a las soluciones prácticas dadas al problema del orden social” (Shapin & Schaffer, 2005).

IV. Estructura del contenido: ¿Cuál es la estructura del contenido, según las preguntas pedagógicas I, II y III? (Klafki, 1995, p. 25).

Esta pregunta se debe plantear con base en los anteriores momentos. Sin embargo, analizada de forma separada, debe ser pensada de una forma teórico-científica. En efecto, Klafki (1995) sostiene que “la pregunta sobre la estructura del contenido «electricidad», por ejemplo, puede responderse mediante palabras clave como «teoría atómica», «corriente eléctrica», «ley de Ohm», etc.” Las respuestas sólo pueden ser formativas cuando las preguntas están en el nivel comprensivo de los educandos, como en los grados 10 y 11 para nuestro caso o en la formación profesional. Es por ello que los modelos explicativos de la teoría atómica o la formulación matemática de la ley de Ohm, no pueden ser comprendidos en niveles básicos y por lo tanto no contribuyen a la formación de los educandos. Pero el punto no es sólo entre los niveles básicos o superiores, el punto es que cualquier didacta o maestros que crea que puede presentar los contenidos –en cualquier nivel educativo– sin atender a la estructura tanto teórica como pedagógica de éstos, o a presentarlos sólo porque “científicamente” ya se ha validado, corre el riesgo de inducir a la comprensión de conceptos erróneos o al aprendizaje memorístico que no contribuirá posteriormente a la vida espiritual de los educandos. Klafki plantea que la física, por ejemplo,

tendrá que ser orientada a fenómenos (Wagenschein). Tendrá que limitarse a aquellos fenómenos de la electricidad a los que los estudiantes tienen acceso, ya sea a través de su experiencia cotidiana o por medio de experimentos simples y que les interesan. (Klafki, 1995)

Según lo anterior, las otras preguntas básicas que se derivan son:

- ¿Cuáles son los momentos particulares del contenido y en qué conexión se encuentran esos momentos particulares?

En el caso del motor de gasolina, esto sería, por ejemplo, (a) la expansión de los gases en el calentamiento, (b) la baja temperatura de ignición de la gasolina-bujía, (c) la transmisión técnica del movimiento hacia arriba y hacia abajo en

el cigüeñal, (d) simples conexiones de engranaje para transmitir la dirección del movimiento mecánico.

- ¿Cómo se relacionan esos momentos particulares?

(a) ¿Forman una serie lógicamente 'obvia'? (principalmente en aritmética y en matemáticas, en las ciencias naturales). En este caso, se debe cumplir un cierto orden de pasos lógicos. (b) ¿O forman una estructura interdependiente, en la que todos o algunos elementos están interrelacionados, de modo que el orden en que son examinados no es necesariamente dado por la lógica (como las plantas y animales típicos en relación simbiótica, los factores geofísicos esenciales a un paisaje en particular, las relaciones geográficas, etc.)?

- ¿Tiene niveles el contenido? ¿Tiene diferentes niveles de sentido y de importancia?

En geografía, con el tema 'África', se incluiría el nivel básico de conocimientos sobre las zonas climáticas y de vegetación, luego el nivel de conocimientos especializados y específicos, incluidos los factores antropológicos, geográficos, económicos, etc. El caso de un tema histórico como la revolución bolchevique de 1917 en Rusia implicaría, en primer lugar, el nivel de hechos históricos esenciales; segundo, el nivel de la ideología política; tercero, el nivel de fenómenos históricos, políticos y sociológicos fundamentales y conceptos básicos como el estado, el gobierno, el zar, la clase, la revolución.

- ¿Pueden ser comprendidos esos niveles en relativa independencia entre sí, o el conocimiento de un nivel es un requisito previo para la comprensión de otro (como en los ejemplos de geografía e historia)?

- ¿En qué contexto mayor se encuentra ese contenido? ¿Qué se debe haber estudiado antes para comprenderlo?

El estudio del magnetismo, por ejemplo, tendría que preceder al estudio del motor eléctrico.

- ¿Qué propiedades del contenido presumiblemente harán que el acceso al tema sea difícil para los educandos? (Klafki, 1995, pp. 25-26).

En esta última pregunta se puede pensar en los “refranes” del tipo “el sol sale de día y se esconde en la noche”, ilustraciones incluidas en los libros de texto como las representaciones de los modelos atómicos o en conceptos actuales aplicados a épocas del pasado. Según Klafki, lo que hacen es ofrecer una imagen errónea de la ciencia, de fenómenos naturales y de los procesos históricos.

V. Asequibilidad del contenido: ¿Cuál es el conjunto de conocimientos que debe conservarse como saber mínimo si el contenido según estas preguntas debe considerarse «espiritual», «vivo» y «efectivo»? (Klafki, 1995, p. 26).

Para Klafki esta pregunta final se desarrolla en tres momentos:

a) ¿Cuáles son los sucesos, situaciones, intentos a partir de los cuales los educandos de esa clase, de ese nivel pueden, de una manera interesada, cuestionar, comprender, contrariar, intuir, acceder a la estructura del respectivo contenido? (Klafki, 1995).

Según Klafki, es esta pregunta la que conduce el curso de la enseñanza. En efecto, el propósito es poner los contenidos al alcance de los educandos para que éstos puedan acceder a su estructura. Es relevante la relación que establece Klafki al respecto con Roth en tanto éste plantea que “el objeto y el educando se entrelazan cuando los educandos pueden sentir el objeto, la tarea, el bien cultural en la cercanía de sus procesos de desarrollo, en su situación original” (Roth, 1983, p. 116). Precisamente, se trata de poner el contenido en su situación original pero utilizando los medios adecuados y de actualidad para los educandos. Esto es, “objetos materiales en invenciones y descubrimientos, obras en creaciones, planes en preocupaciones, tratados en decisiones, soluciones en tareas” (Klafki, 1995, p. 27).

b) ¿Qué imágenes, sugerencias, situaciones, observaciones, historias, experimentos, modelos, etc. son apropiados para ayudar a los educandos a responder, con la mayor independencia posible, sus preguntas dirigidas a la estructura del contenido? (Klafki, 1995, p. 27).

La respuesta a este interrogante es “el regreso a la situación original”. Esta no se refiere a un sentido intelectual o histórico, sino al origen sistemático. Según Klafki, es un principio con el cual estamos familiarizados para inducir un “verdadero proceso de cuestionamiento en los educandos y el camino correcto para la enseñanza” (Klafki, 1995, p. 27).

c) ¿Cuáles son las situaciones y tareas apropiadas para que con un ejemplo, con un caso elemental se haga productivo el principio de una cosa, la estructura de un contenido se pueda aplicar y a partir de ahí ejercitar? (Klafki, 1995, p. 27).

Aquí el punto central es que la práctica se corresponda con un propósito. En la enseñanza de las leyes del movimiento es pertinente incorporarlas con un ejemplo apropiado y, luego, buscar situaciones en la vida de los educandos donde éstas se pueden aplicar: el plano inclinado aparece, por ejemplo, cuando los niños dan sus primeros pasos hasta cuando son capaces de arrancar un auto en una pendiente.

Las anteriores cinco preguntas y sus respectivas secciones son mutuamente dependientes, de modo que el orden caracterizado aquí –y el que propone Klafki– no es obligatorio para el análisis didáctico porque cada pregunta tiene connotaciones implícitas de las otras cuatro y, como lo sostiene Klafki, la respuesta a cada pregunta individual sólo se hace completamente comprensible a la luz de las cinco respuestas.

Adicionalmente, el análisis didáctico involucra el momento de la metódica que se caracteriza por abordar las problemáticas relacionadas con las formas, medios y métodos pedagógicos que, como lo he dicho, se encuentran en constante interacción con el análisis didáctico. La pregunta principal en ese momento didáctico es por las formas adecuadas para lograr un encuentro fructífero entre el objeto y los educandos (cuya significación pedagógica ya fue analizada según las anteriores preguntas). El punto es que la única forma de determinar si alguna de esas formas, medios o métodos son pedagógicamente correctos en un caso particular, es averiguando si es apropiado para el contenido. Por ello, Klafki considera de suma importancia que los problemas de la metódica deban considerarse también como cuestiones didácticas, como problemas de contenido.

Así las cosas, esta fase de análisis debe concentrarse en las siguientes cuatro áreas:

- La organización de la enseñanza en secciones o fases o pasos.
- La elección de las formas de enseñanza, trabajo, juego, práctica y repetición.
- El uso de ayudas (medios, métodos).
- El logro de los presupuestos organizativos para la enseñanza. (Klafki, 1995, p. 27. p. 28).

Es muy importante comprender que las ideas sobre el método sólo ocurren en el transcurso del análisis didáctico, pero tal planificación sólo es posible después del análisis. Precisamente porque como se puede observar, las preguntas caracterizadas en líneas anteriores no son idénticas al orden que Klafki sugiere en la fase metódica. De hecho, Klafki (1995) sostiene que:

[...] las perspectivas o aplicaciones que los educandos pueden demostrar sobre la base de las ideas expuestas en la pregunta II, vienen cuando se estudia el método, después de las conclusiones prácticas que se extraen de las consideraciones expuestas en la pregunta V. (p. 29)

En síntesis, la fase metódica se orienta hacia consideraciones prácticas, mientras que el nivel analítico de la didáctica sigue normas teórico-sistemáticas (Klafki, 1995). No obstante, lo relevante es que la estructuración metódica de la enseñanza siempre asocia “presupuestos individuales subjetivos (antropógenos)” de los educandos con “las exigencias objetivas de la materia (que tienen condiciones socioculturales)”. Para Blankertz (1981) esta es la cuestión metódica fundamental.

El análisis didáctico según el enfoque teórico-formativo, evidencia la complejidad de la investigación didáctica en relación con la didáctica de las ciencias o las didácticas especiales que parcialmente cubren aspectos pedagógicos, precisamente porque sus intereses se han orientado hacia los contenidos (Inhalt), o como lo caractericé en este capítulo, en lo que se denomina la formación material. Como bien lo plantea Runge (2008), parece que las didácticas especiales olvidaron ese momento de la historia en el que Klafki criticó el objetivismo y el cientificismo de la formación material. A este planteamiento, yo le agrego, también, un asunto de desconocimiento de las tradiciones pedagógicas tan importantes para el análisis sobre la educación y la formación. Es un desconocimiento impulsado, además, por

las urgencias de la “innovación conceptual y de autonomía disciplinar”, resultado de un mundo llamado “cientificado” que tiene como consecuencia el ocultamiento y olvido de conceptos como el de formación (Bildung). Pero no son las ciencias las que deban determinar autónomamente la formación de las personas, antes bien, las ciencias deben ser cuestionadas pedagógicamente “desde los problemas actuales y futuros de la vida de la sociedad y los individuos, que siempre son problemas de acción, por sus posibles soluciones y al mismo tiempo sus límites” (Klafki, 1985, p. 122).

Los esfuerzos por incorporar los estudios metacientíficos en la didáctica y la enseñanza de las ciencias hay que valorarlos. Sin embargo, a mi modo de ver esos esfuerzos no pueden quedar aislados de los problemas formativos y educativos fundamentales. Por ello, en el siguiente capítulo haré extensiva la propuesta teórico-formativa para la didáctica de las ciencias y mostraré que efectivamente se puede relacionar el concepto de formación (Bildung) con los estudios metacientíficos en la investigación didáctica.

4

Hacia una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung).

Los estudios metacientíficos y la didáctica teórico-formativa

En la construcción de esta propuesta distingo Pedagogía de Didáctica. La primera como una disciplina cuyo objeto de estudio es la formación y la educación en sentido amplio de los seres humanos y, la segunda, un subcampo de la pedagogía igualmente relacionado con problemas formativos y, por lo tanto, enfocada en un nivel socio-crítico que analiza, junto con otras disciplinas y subdisciplinas pedagógicas, la enseñanza, el aprendizaje, la constitución de subjetividades, problemas políticos y sociales, entre otras. Parto de la premisa según la cual, los problemas relativos a la formación, la educación y la enseñanza no se subordinan a las ciencias o saberes específicos. Así las cosas, los estudios metacientíficos no resolverán los problemas sobre la “enseñanza de las ciencias”. Podrán orientar algunos análisis conceptuales sobre los contenidos, como en el caso de la ciencia del movimiento de Galileo abordada en los capítulos uno y dos, pero se deberán someter a cuestionamientos pedagógicos. Este último será el punto central para establecer la relación entre los estudios metacientíficos y la didáctica teórico-formativa y, en general, para proponer una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung).

Para darle fuerza argumentativa a dicha relación y justificar la propuesta de una didáctica de las ciencias enfocada en la formación, mostraré que los contenidos científicos

no se seleccionan por la importancia que le otorga la comunidad científica, sino teniendo en cuenta lo formativo de los contenidos y el ideal de ser humano que se pretende formar mediante éstos. Para ello, uno de los puntos clave es buscar en los contenidos (Inhalt) su contenido formativo (Bildungsgehalt). De aquí se derivan las consecuencias antropológicas de las decisiones metódicas que analizaré según los conceptos de formación (Bildung) y formabilidad (Bildsamkeit). Para potenciar lo formativo de los contenidos, haré uso del programa fuerte según los criterios teórico-formativos analizados en el capítulo tres. De esta manera, la pregunta que el didacta y el maestro de ciencias que ha decidido utilizar la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia en sus investigaciones didácticas y en la construcción de propuestas formativas para la clase, será: ¿Cuál es el sentido formativo que tiene el uso de los estudios metacientíficos en la enseñanza de las ciencias?

La tarea del didacta y el educador: buscar en los contenidos (Inhalt) contenido formativo (Bildungsgehalt)

Como se evidenció en el capítulo anterior, desde la didáctica teórico-formativa cualquier contenido que se pretenda enseñar debe apuntar a un objetivo pedagógico. Esto se hace mediante un tema o problema que incluye el contenido y el objetivo. Se identifica el contenido formativo (Bildungsgehalt) con las preguntas realizadas por el didacta y los ejemplos que logren mostrar el valor de los contenidos y su impacto en la vida de los educandos.

En este sentido, los contenidos con contenido formativo (Bildungsgehalt) dependen de decisiones didácticas previas según el análisis didáctico realizado. Se reconocen los problemas importantes en las disciplinas específicas y se presentan con su inherente dinámica histórica y social. Se debe realizar una investigación sobre las posibles soluciones de los problemas y se incentiva la capacidad de generalizar de los educandos mediante ejemplos concretos. En consecuencia, el aprendizaje se da en el marco de temas ejemplares que son interiorizados por los educandos y, a partir de ellos adquieren conocimientos que se encuentran en otros niveles de complejidad. Se trata de un aprendizaje autónomo que consiste en que la enseñanza no se presente como un constructo monolítico a las estructuras, principios y contextos que deben ser aprendidos. No pueden ser formulas, resultados,

esquemas, hechos o modelos aislados, sino formas que ayuden a que los educandos descubran de manera constructiva o reconstruyan de modo analítico los pasos lógicos en la elaboración de semejantes regularidades, estructuras y contextos (Klafki, 1985). Aquí se resuelven las dudas y críticas de algunos didactas de las disciplinas sobre la ausencia de investigación de la didáctica [general] respecto del aprendizaje. En efecto, Klafki se refiere a la teoría cognitiva de Jerome Bruner a propósito del aprendizaje, en el que los educandos descubren por sí mismos de una manera crítica aquello que desean aprender pero según las condiciones ofrecidas por el maestro. Klafki sostiene que uno de los puntos importantes para el aprendizaje ejemplar es la confrontación del educando con la realidad y la apropiación de experiencias y/o actitudes estructurales y categoriales. Aquí es donde sigue la propuesta de Bruner según la cual se puede realizar la confrontación con la realidad y su apropiación en el proceso de aprendizaje:

- El trato directo y activo de la realidad. Por ejemplo explorar y comprobar características y posibilidades de los objetos y del propio cuerpo, en la comunicación directa, la exploración y descubrimiento de relaciones sociales y emocionales (Bruner: “enactivo”).
- Mediado por imágenes, esquemas, bocetos, cuentos e informes ilustrativos, representaciones (por ejemplo el juego de roles; Bruner: “icónico”).
- Mediado por conceptos abstractos (“símbolos”), operaciones “únicamente” espirituales y argumentaciones teóricas (Bruner: “simbólico”). (Klafki, 1985, p. 157)⁵⁹

Los contenidos con contenido formativo (Bildungsgehalt) no se enfocan en complejas estructuras conceptuales ni tampoco en una transmisión de éstas sólo porque las comunidades científicas que trabajan con ellas afirman que son muy importantes. Los contenidos formativos deben despertar intereses en los educandos y tendrán consecuencias en ellos sólo

⁵⁹ - in der Weise direkten, handelnden Umgangs mit Wirklichkeit (i.w.S.d.W.), z.B. im Explorieren und Erproben von Eigenschaften und Möglichkeiten der Gegenstandswelt oder des eigenen Körpers, in der direkten sprachlichen Kommunikation, im Erfahren und Entdecken emotional-sozialer Beziehungen u.ä. (Bruner: enaktiv);

- im Medium von Bildern, Schemata, Skizzen, anschaulichen Erzählungen und Berichten, Darstellungen (z.B. im Rollenspiel; Bruner: ikonisch);

- im Medium abstrakter Begriffe ("Symbole"), "nur noch" gedanklich vollzogener Operationen und theoretischer Argumentationen (Bruner: symbolisch).

si los consideran importantes para el entendimiento y desarrollo de su realidad y de su propio Yo. La idea es que estos contenidos contribuyan, además, a la capacidad de juicio y de acción. Se trata de contenidos que están orientados a la vida actual de los educandos y que conllevan las futuras tareas sociales e individuales. Esto evita que los contenidos científicos se presenten únicamente por la importancia actual otorgada por los medios o por los intereses económicos que conducen la práctica científica. Mediante los contenidos con contenido formativo, los educandos deben conocer estos límites y superarlos desde una perspectiva crítica. En este orden de ideas, los contenidos se deben presentar mediante ejemplos que logren evidenciar los valores positivos y negativos de las ciencias para la comprensión de problemas individuales y sociales. Precisamente, un contenido con contenido formativo evidencia problemas centrales de la existencia en relación con las artes, la cultura, la política, la religión, la economía, la ciencia, la tecnología y la técnica, por ejemplo, el manejo de la física de altas energías en el Proyecto Manhattan y sus implicaciones sociales, la comprensión de los conceptos espacio y tiempo de Newton según su voluntarismo teológico o la idea de “progreso” científico y tecnológico y sus consecuencias económicas y sociales. Estos problemas tienen efectos directos en la vida de los educandos, su comportamiento, juicios y actitudes. En esta línea argumentativa, Klafki (1995b) sostiene:

[...] Para citar un ejemplo, el hecho de que haya más investigaciones en todo el mundo sobre tecnología nuclear o tecnología de armamentos que sobre "energías blandas" o sobre oportunidades de asistencia técnica para el desarrollo mediante el uso descentralizado de energía eólica e hidroeléctrica o bioenergía y energía geotérmica, no es algo que esté en la lógica interna de la ciencia o la ingeniería, sino que está justificado política y económicamente. Si estas conexiones no son ejemplarmente realizadas en la enseñanza de las ciencias, los estudiantes generarán una creencia ingenua en ésta, en su progreso y una confianza acrítica en las "declaraciones de los expertos", y no se reconocerá que las declaraciones de "expertos" pueden ser de una particular naturaleza social, política o económica. Los intereses están determinados. Uno crea la falsa idea de un desarrollo supuestamente puro o "inmanente-lógico" de la investigación científica y la aplicación de sus resultados, es decir, lo opuesto a la conciencia iluminada: uno genera "ideología" en el

sentido más estricto de la palabra, a saber, falsa conciencia sobre condiciones y procesos socialmente relevantes. (p. 100)⁶⁰

Así las cosas, los contenidos con contenido formativo se relacionan directamente con objetivos generales y crítico emancipadores, como la capacidad de auto y codeterminación, solidaridad, crítica y juicio, así como con el análisis sobre la situación social y los intereses que constituyen la dinámica científica. No obstante, los contenidos que se identifican estrictamente como instrumentales, por ejemplo, realizar correctamente operaciones matemáticas, utilizar logaritmos, etc., no tienen y no se les puede atribuir directamente potencial crítico. Como lo plantea Klafki, la distinción entre temas *potencialmente emancipatorios* y temas *instrumentales* es sólo transitoria porque hay que recordar que la selección depende del contexto sociohistórico y de la situación e intereses de los educandos, de modo que se abre la posibilidad para entender los temas sólo como *instrumentales* o como una necesidad para sus posibilidades de auto y codeterminación. Sin embargo, es indispensable que los temas instrumentales se presenten en el contexto de los temas emancipadores y se justifiquen a partir de éstos. Una de las hipótesis de Klafki (1985) es que en el caso de temas instrumentales, “los métodos pueden ser orientados directamente a los objetivos emancipadores” (p. 265). Así, respecto de los temas y contenidos instrumentales pueden presentarse formas de enseñanza y aprendizaje que tienen como objetivo un aprendizaje que comprende y descubre, y el autocontrol sobre los temas que los mismos educandos consideran pertinentes. De esta manera, se compensa el carácter instrumental de los contenidos mediante los aspectos emancipadores del método (Klafki, 1985).

⁶⁰ Daß es - um ein einziges Beispiel zu nennen - in aller Welt mehr Forschung über Atomtechnologien oder Rüstungstechnik als über „sanfte Energien“ oder über Möglichkeiten technischer Entwicklungshilfe durch dezentralisierte Nutzung von Energie, Wind- und Wasserkraft oder Bioenergie und Erdwärmennutzung gibt, liegt nicht in der immanenten Logik der Naturwissenschaften oder der Ingenieurwissenschaften, sondern ist politisch und ökonomisch begründet. Wenn diese Zusammenhänge im wissenschaftsorientierten Unterricht nicht exemplarisch aufgehehlt werden, erzeugt man bei Schülern eine naive Wissenschafts- und Fortschrittsgläubigkeit und ein unkritisches Vertrauen in „Expertenaussagen“; es wird dann nicht erkannt, daß Aussagen von „Experten“ möglicherweise von bestimmten ökonomischen, gesellschaftlichen, politischen Interessen bestimmt sind. Man erzeugt die falsche Vorstellung von einer vermeintlich rein „immanent-sachlogisch“ verlaufenden Entwicklung wissenschaftlicher Forschung und der Anwendung ihrer Ergebnisse, also das Gegenteil von aufgeklärtem Bewußtsein; man erzeugt „Ideologie“ im strengeren Sinne des Wortes, nämlich falsches Bewußtsein über gesellschaftlich relevante Verhältnisse und Prozesse.

Para una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung), entonces los contenidos con contenido formativo no serán las expresiones científicas ni los temas que las ciencias por su propia dinámica dicten y, que en la enseñanza, se deban duplicar o reproducir. Serán más bien contenidos concretos y potencialmente emancipadores que permiten el desarrollo de los educandos con el objetivo de mejorar sus niveles críticos y culturales respecto de la ciencia, entendida ésta como una institución social.

Consecuencias antropológicas de las decisiones metódicas en la didáctica de las ciencias: formación (Bildung) y formabilidad (Bildsamkeit)

¿Por qué analizar antropológicamente las decisiones metódicas en la didáctica de las ciencias? Como lo plantean Wulf y Zirfas (2014) “el tema de la antropología pedagógica es el ser humano, su educación y las condiciones de su formación” [Bildungsverhältnisse] (p. 9).⁶¹ Su tarea consiste en comprender al hombre desde la educación, la formación y la socialización, y sus determinaciones pedagógicas. Por otro lado, debe aclarar qué metódicas y sistemas son necesarios. Esto quiere decir que si se parte de la idea según la cual el ser humano debe ser educado, entonces la educación, y esto incluye la educación en ciencias, ya sea de forma implícita o explícita, inherentemente presupone una imagen de hombre y un ideal de formación. En efecto, “sin presupuestos sobre el hombre, sin antropología, no son posibles ni la educación ni la formación” (Wulf, 2001).

Según lo anterior, si la formación (Bildung) de los seres humanos se potencia mediante la educación, entonces el didacta –de las ciencias– debe apuntar su análisis a aquellos contenidos y formas, aspectos subjetivos y objetivos que humanizan al hombre. No me refiero aquí a una imagen –o ideal– de hombre estática, más bien, hablo de diversas imágenes e ideales, incluso históricas, que pueden ser repensadas según planes formativos específicos. Por ello, los contenidos seleccionados en tanto contenidos formativos contribuyen a un aspecto fundamental que transcurre en toda la vida de los seres humanos: su educación. Como lo mostré en el capítulo tres, los contenidos culturales pensados al margen de los seres humanos no tienen ninguna importancia formativa y, del mismo modo,

⁶¹ Gegenstand der Pädagogischen Anthropologie sind der Mensch und seine Erziehungs und Bildungsverhältnisse

pensar únicamente en los aspectos subjetivos no representa un proceso formativo. Sólo cuando el hombre se abre a una realidad e incorpora la cultura, se puede caracterizar la formación. Analizar los contenidos científicos como contenidos culturales que forman y educan a los seres humanos, implica trabajar con presupuestos antropológicos, estos son: la necesidad de una educación, de formarse y de aprender. En efecto, “sin el conocimiento antropológico las teorías y prácticas pedagógicas no serán comprendidas adecuadamente. No toda pedagogía es una antropología pedagógica, pero siempre está vinculada con ella” (Wulf y Zirfas, 2014, p 10). Lo anterior implica que los científicos de la educación y los profesores tomen conciencia de los presupuestos antropológicos que le subyacen a su trabajo dado que ambos poseen un saber antropológico, a veces implícito, que requiere ser explicitado tanto para la ciencia de la educación como para la praxis educativa (Wulf, 2004).

Precisamente, las formas, métodos, contenidos e imágenes que están en juego en cualquier propuesta formativa, propenden por un ideal de hombre. Sin embargo, tales propuestas escasamente responden la pregunta: ¿Cuál es el ideal de hombre que se quiere formar mediante los contenidos seleccionados? Por ello, es importante que la didáctica de las ciencias no renuncie al concepto de formación (Bildung). La antropología pedagógica tiene un papel muy importante aquí. Dado que no se trata de la aceptación de imágenes o ideales de hombre estáticos, la antropología pedagógica adquiere un papel crítico y señala las implicaciones de tales imágenes caracterizadas por su ahistoricidad, ideología,⁶² homogeneización y prescripción, porque usualmente las imágenes e ideales formativos contienen nociones sobre cómo se desarrollarán los acontecimientos o lo que va a suceder o se pretende constituir un destino humano. Al respecto, Wulf y Zirfas (2004), sostienen que las imágenes pedagógicas humanas (Pädagogischen Menschenbildern) legitiman medidas pedagógicas, y esas imágenes están ligadas a las ideas de lo verdadero y lo falso, lo bueno y lo malo, lo bello y lo feo y lo sano y lo enfermo. Así que las imágenes pedagógicas humanas

⁶² Utilizo el término “ideología” en la misma línea conceptual de Klafki (1994): “se refiere a la conciencia de hechos y procesos sociales que pueden ser probados científicamente como falsos y que directa o indirectamente estabiliza las condiciones existentes de desigualdad social y dominación, aparentemente los justifica, evitando así la crítica y el posible cambio”. Ahora bien, si la didáctica de las ciencias incorpora el concepto de formación (Bildung), y ello implica pensar que la educación está orientada hacia la emancipación, la auto y codeterminación y la solidaridad, entonces, por este motivo, es indispensable que la Ciencia de la Educación en general y la didáctica en particular, asuma una postura crítica frente a las formas ideológicas en que son presentados los contenidos científicos.

forman parte del pensamiento y acciones pedagógicas y, a su vez, dependen de las condiciones histórico-culturales de la vida. De este modo, y dado que una de las particularidades de los seres humanos es su diversidad, lo que el hombre puede y deber ser es histórica y culturalmente variable. En consecuencia, por ningún motivo debe determinarse absolutamente. Las imágenes pedagógicas humanas se determinan desde los métodos y contenidos utilizando las pautas de diferentes disciplinas, como la filosofía, la biología, la estética, la historia, la literatura, etc. No obstante, de lo que se trata es de problematizar esas construcciones y determinaciones y proponer, a su vez, imágenes de hombre obviamente criticables y relativas a sus contextos culturales sin reducirlo a un rasgo fundamental.

Así las cosas, para una didáctica teórico-formativa y crítico-constructiva que tiene claro en sus teorías de la formación que el hombre posee un futuro incierto y que los contenidos deben ayudarlo a enfrentarlo, la antropología pedagógica le sirve porque sólo cuando el hombre permanece abierto a esa su realidad –incierto– se pueden examinar sus posibilidades de formación y determinación.

Una didáctica de las ciencias enfocada en la formación también debe incorporar el concepto de formabilidad (*Bildsamkeit*).⁶³ Según Herbart (1889), “el concepto central de la pedagogía es la formabilidad del alumno” (p. 7). Precisamente porque gracias a esa capacidad que tiene el ser humano de formarse es que se puede hablar de socialización, cultura, subjetivación y, por lo tanto, de aprendizaje, educación y formación (*Bildung*). De esta manera la formabilidad es un supuesto básico para cualquier consideración y/o análisis sobre la educación y las teorías de la formación, dado que con ella se abren las condiciones de posibilidad para que los efectos educativos tengan sentido. Esto se justifica, según Herbart (1889), porque la formabilidad debe convertirse en educación, pero no se trata de contenidos (*Inhalt*) sino de los principios que suponen la posibilidad, mediante situaciones concretas, de formación. Así, la formabilidad de los alumnos se reconoce cuando contenidos históricos-

⁶³ Uno de los precursores del uso de este concepto es Johann Friedrich Herbart. Algunos de sus textos han sido traducidos al español por Lorenzo Luzurriaga. Sin embargo, en cuanto al concepto *Bildsamkeit* –y *bildung*– tomo distancia de su traducción como *Educabilidad*, ya que no logra ajustarse a las distinciones ofrecidas por las teorías de la formación y la antropología pedagógica en la tradición alemana. Según lo expuesto hasta el momento, entonces me sumo a la propuesta del profesor Andrés Klaus Runge y distingo “formación” (*bildung*) de “educación” (*erziehung*) y “formabilidad” (*bildsamkeit*) de *educabilidad*. Precisamente estas distinciones nos sirven para trabajar con la formación y la formabilidad como referentes antropológicos y pedagógicos centrales.

culturales llegan a impactarla, o bien, cuando la praxis educativa trabaja sobre ella y la actualiza. La formabilidad, se refiere entonces a un espacio de posibilidad para formarse donde, de manera importante, las teorías de la formación contribuyen a tal propósito, por ello, y en la línea argumentativa de las teorías de la formación, de la formabilidad no es posible derivar y/o prescribir una idea perfecta de hombre, porque los procesos formativos, como bien lo señalan Wulf y Zirfas (2014), tienen que ver “con la extrañeza o alteridad, con la negatividad o resistencia, con lo nuevo y lo inesperado, con momentos que implican condiciones de posibilidad para la transformación de disposiciones básicas y formas de habitus del hombre” (p. 18).

Con base en los conceptos de formación (Bildung) y formabilidad (Bildsamkeit) es posible propender, en la didáctica de las ciencias, por una educación que contribuya a que los educandos aprendan a llevar una vida plena a través del trabajo, la interacción con otras personas y con las tareas políticas y sociales que deben realizarse (Wulf, 2011), en la que la crítica y la elaboración autónoma de juicios jueguen un papel importante en la comprensión de sí mismos y del mundo. En esta misma línea Otto Friedrich Bollnow (1971) plantea:

Frente a los influjos, continuamente crecientes, que intentan “manipular” al hombre desde fuera, se convertirá en la tarea decisiva de la educación el desarrollar en el hombre una fuerza resistente a estas potencias y el capacitarlo a tomar decisiones independiente y responsablemente. En este sentido, se trata de desarrollar en el hombre la capacidad de juzgar por cuenta propia. (p. 23)

Lo anterior implica que la educación y la formación no se equiparen con el logro de objetivos curriculares o con el aprendizaje acrítico, ahistórico y memorístico de contenidos. Por este motivo, las decisiones metódicas y el problema de los medios no se deben asumir como un aspecto distinto a los temas sobre la enseñanza, sino como una “dimensión transversal” (Klafki, 1991). Me refiero aquí a que las decisiones metódicas, es decir, “las formas de organización y realización (donde la relación entre procesos de enseñanza y aprendizaje debe ser entendida como una relación de interacción)” (Klafki, 1991, p. 87), no son neutras y a que medios como el laboratorio, los instrumentos, las propuestas de aula – que en su lugar deberían llamarse propuestas formativas–, los libros de texto y el uso, por

ejemplo, de los estudios metacientíficos para la enseñanza de las ciencias, implican concepciones y prácticas de formación humana. En este sentido, sigo la tesis de Klafki en cuanto a la *interdependencia de todos los factores constitutivos de la enseñanza* (Klafki, 1991, p. 90), la cual señala el vínculo de los factores presentes en las decisiones: “intenciones, temática, metódica y medios, y en los dos campos de condiciones antropogénicas y socioculturales” (Klafki, 1991, pp. 90-91).

Debo reiterar que la didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung) no le da primacía a los objetivos curriculares, “los cuales son sólo una parte visible y medible de la educación” (Wulf, 2011), ni deriva los problemas sobre la enseñanza de la propia estructura conceptual de los contenidos; tampoco se reduce a metódica. La didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung) problematiza y analiza los aspectos relativos a la enseñanza como una situación compleja –lo cual incluye los medios y la metódica– con base en las teorías de la formación y los aspectos antropológicos que éstas presuponen. Los conocimientos de las ciencias sólo tienen valor si los didactas y los maestros los asocian con problemas formativos y educativos, como lo sostiene Roth (1965), esto se puede hacer con la antropología pedagógica, es decir, con conceptos como Bildung y Bildsamkeit para considerar al hombre bajo su capacidad de aprender, formarse y darle sentido a la vida.

Según el enfoque formativo aquí considerado, el uso de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias no puede incorporarse sin someterse a cuestionamientos pedagógicos, se trata de problematizar cómo los estudios metacientíficos, desde un enfoque pedagógico, contribuyen a pensar en los propósitos de formación del ser humano. Esto quiere decir que se debe buscar en los estudios metacientíficos contenidos formativos que ayudan a los individuos a su autorealización como personas de acuerdo a sus contextos y situaciones específicas, y a una liberación o emancipación del individuo como un ideal de formación.

Específicamente, la didáctica de las ciencias enfocada en la formación selecciona los estudios metacientíficos bajo objetivos pedagógicos, como planteamientos conceptuales relevantes para abordar en contextos formativos. Así considerados, pasarían de ser simples contenidos (Inhalt) y pasan a convertirse en contenidos formativos (Bildungsgehalt) que “expresan el enlace realizado entre los planos de objetivos y el plano de contenidos” (Klafki, 1991, p. 95).

Teniendo en cuenta el análisis sobre el movimiento galileano en los capítulos 1 y 2, a continuación mostraré por qué los estudios metacientíficos le pueden ofrecer insumos a la pedagogía y a la didáctica para abordar el tema de la selección de contenidos científicos. Esto es, mostrar los límites y alcances de los estudios metacientíficos como contenidos formativos.

El uso de los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias: análisis desde la didáctica teórico-formativa

He mostrado que desde el enfoque de Klafki se puede caracterizar la clase como una interacción o proceso social, lo cual no nos lleva a considerar únicamente métodos de enseñanza sino, a abordar la educación como una educación social (Klafki, 1995b). Al respecto Klafki (1985) sostiene:

En él [el proceso social] –a través de las biografías de los profesores y los educandos que son siempre biografías individuales bajo condiciones sociales específicas–, se incorporan, intensifican o se fundamentan, oprimen o alteran percepciones sociales, prejuicios, modos de acción y actitudes que conducen a conflictos y perturbaciones, contactos o compromisos, transferencias o reacciones defensivas. (p. 125)⁶⁴

Aquí se hallan intereses tanto de los maestros como de los estudiantes y, por supuesto, las condiciones contextuales que dan lugar a tal interacción. En este proceso social es de vital importancia, para lograr el aprendizaje, que se seleccionen unos ejemplos adecuados que impacten en la vida de los educandos. En este sentido se trata de analizar los contenidos y/o conceptos científicos con base en el programa fuerte ya que este enfoque de análisis proporciona una mirada crítica sobre la empresa científica y puede relacionarse con la perspectiva crítica de la didáctica teórico-formativa. Así las cosas, no es lo mismo, por ejemplo, abordar problemas de la práctica científica con base en aspectos estrictamente lógicos o con criterios transhistóricos de racionalidad, que si se analizan teniendo como

⁶⁴ In ihn gehen - vermittelt über die mitgebrachten Biographien der Lehrer und der Schüler, die immer individuelle Biographien unter spezifischen sozialen Verhältnissen sind – unterschiedliche soziale Wahrnehmungen, Vorurteile, Handlungsweisen und Einstellungen ein, werden verstärkt oder eingeschliffen, unterdrückt oder verändert, führen zu Konflikten und Störungen, Kontakten oder Kompromissen, Übertragungen oder Abwehrreaktionen.

premisa que la ciencia es una institución social. Voy a mostrar esto por qué tiene tanta importancia para la didáctica teórico-formativa y, en consecuencia, para el análisis didáctico.

Uno de los supuestos básicos en la didáctica teórico-formativa es partir de contenidos de fácil comprensión y a partir de allí subir cada vez el nivel de complejidad. Para ello es importante vincular los contenidos a experiencias cotidianas de los educandos. En esta misma línea –que no es una línea pedagógica– David Bloor (1991) sostiene que un teorema del tipo $x(x + 2) + 1 = (x + 1)^2$ se aprende precisamente recurriendo a nuestras experiencias, dado que los razonamientos matemáticos “no son sino pálidas sombras de las operaciones físicas con objetos”. Aquí estamos en el campo de las demostraciones matemáticas que usualmente han sido caracterizadas como una disciplina que incorpora verdades incuestionables e inmutables. Esas verdades deben ser dominadas por los individuos comprendiendo que explícitamente hay una distinción entre lo correcto y lo incorrecto. Las verdades que no han sido descubiertas, en esta caracterización, están ahí esperando a que la mente de los individuos sea capaz de aceptarlas. Parece que ese estado de las matemáticas está dotado de una realidad tal con la que el pensamiento ordinario no es capaz de trabajar, salvo en algunos cálculos prácticos donde se utilizan los números pero no, por ejemplo, cuando se trata de describir su naturaleza. Para Bloor, ese carácter único e ineluctable de las matemáticas forma parte de la fenomenología de las matemáticas. Así, ninguna explicación sobre la naturaleza de las matemáticas debe pasar por verdaderas tales apariencias pero sí tiene que explicarlas como tales. Los filósofos de las matemáticas asumen acríticamente los datos fenomenológicos y los convierten en metafísica y, aquí, cualquier sociología de las matemáticas en el sentido del programa fuerte queda excluida. No obstante, lo que se necesita es un enfoque crítico y naturalista que, en efecto, es ofrecido por el programa fuerte en tanto proporciona una perspectiva de análisis adecuada sobre la naturaleza del conocimiento matemático y del pensamiento lógico (Bloor, 1991).

David Bloor señala con base en el enfoque psicológico de J.S Mill que:

☞ La amplia aplicabilidad del razonamiento aritmético se debe al hecho de que podemos, con mayor o menor dificultad, asimilar a estos modelos muchas situaciones diferentes.

☞ Cuando elevamos $(x + 1)$ al cuadrado no tenemos presentes nuestras experiencias infantiles debido a que el proceso se ha vuelto mecánico e inconsciente por la costumbre.

☞ La afirmación de que un guijarro y dos guijarros forman tres guijarros representa para Mill un logro del conocimiento empírico. Este logro consiste en darse cuenta de que las situaciones físicas que percibimos de maneras muy diferentes, pueden producir «por reagrupamientos de orden o de lugar, un conjunto de sensaciones o bien otro».

☞ La manipulación formal de símbolos escritos debe ser descartada con el fin de propiciar experiencias subyacentes que les correspondan. Sólo estas pueden dar sentido a la manipulación simbólica y dar una significación intuitiva a las conclusiones que se obtengan. (Bloor, 1991, pp. 88-89)

Estos argumentos parecen convincentes en el orden de una idea sobre hacer corresponder los números a objetos. Sin embargo, para Frege ese es el problema de la propuesta de Mill, para Frege los números no son inherentes a los objetos sino que dependen del modo como se mire esos objetos. Bloor realiza una lectura sociológica de este problema y señala que la crítica de Frege es, en efecto, la ausencia de un componente sociológico que permita “poner orden” en las diferentes maneras de experimentar las propiedades de los objetos. El punto central es que el comportamiento de los objetos proporciona un modelo para nuestro pensamiento, pero sólo son modelos aquellos que siguen ciertas reglas o convenciones. Así las cosas, no se trata de ver en cualquier objeto números, se trata “de observar de un modo especial para un propósito especial, el propósito ritualizado de contar” De esta manera, la experiencia que asociamos con los números se corresponde con la experiencia de objetos a los que se les asignan ciertos roles en modelos y ordenamientos característicos (p. 101).

Los anteriores argumentos en relación con la experiencia y las matemáticas muestran que éstas no versan sobre una realidad especial llamada *realidad matemática*. Si las matemáticas versan sobre los números y éstos son convenciones, entonces las matemáticas tratan sobre algo social. Si se le otorga a la matemática una realidad diferente o especial como

usualmente suele suceder, se estaría en la misma línea, como lo menciona Bloor, de la creencia en que sólo hay una verdad moral:

[...] no hay duda de que en la teoría actual la creencia de que las matemáticas son únicas tiene exactamente el mismo estatus que la creencia de que existe una verdad moral única. Pero si la historia demuestra la diversidad de las creencias morales, ¿no demuestra también la unicidad de la verdad matemática? ¿No refutan los hechos la pretensión de que la compulsión lógica es de naturaleza social? (Bloor, 1991, p. 106)

Efectivamente un enfoque como el del programa fuerte ofrece elementos conceptuales importantes para quitarle a la ciencia ese supuesto carácter sagrado y ubicarla en el nivel de una actividad humana como todas las demás. Las matemáticas no son estáticas ni inmutables y varían, también, como cualquier estructura social. Esta perspectiva crítica del programa fuerte contribuye a resolver problemas de la dinámica científica⁶⁵ y, mediante su metodología, a saber, los estudios empíricos o estudios de caso como el abordado en los capítulos 1 y 2, se evidencia que la elaboración de teorías explicativas es mucho más compleja que una mera postulación de axiomas o sistemas formales que por sí solos, para el contexto educativo, sólo expresa ideas ahistóricas y sin sentido crítico. De esta manera, un análisis conceptual sobre los contenidos con base en el programa fuerte, le permite al didacta y al maestro tener un enfoque de análisis lo suficientemente explicativo y crítico para proceder a contextualizarlo en términos didácticos y someterlo a cuestionamientos formativos.

Como lo he mostrado, Klafki sostiene que es importante partir de *ejemplares* con base en problemas de importancia en las disciplinas y que deben ser presentados históricamente. En este sentido, mediante los estudios empíricos o estudios de caso como el abordado en los capítulos 1 y 2 sobre la relación matemáticas-filosofía natural en el contexto galileano, el didacta y el maestro de ciencias puede acercarse a problemas fundamentales para el análisis sobre el movimiento, concepto central de la filosofía natural de los siglos XVI y XVII y de la física contemporánea. Con un análisis de este tipo, el didacta y el maestro podrán ubicar

⁶⁵ Cfr. Capítulo 1.

“temas” relevantes que puedan ser generalizados por los educandos y que se correspondan con objetivos pedagógicos. Así, se resaltarán –y sintetizarán– tanto las características disciplinares de los contenidos como los objetivos, estrictamente fundamentado en un enfoque crítico, histórico y con fines emancipatorios. Es muy importante y, de hecho, debe ser la premisa fundamental, que el didacta y el maestro no reemplace el análisis didáctico por el análisis sociológico y, que este último, lo ubique en un nivel pedagógico y didáctico. Esto no es posible. La premisa es someter ese análisis sociológico a las preguntas caracterizadas en el capítulo 3 con el fin de explotar lo formativo que tienen los contenidos. De este modo, los estudios metacientíficos y, en particular, el programa fuerte, no se asumirán como “metódicas” sino como enfoques de análisis que ayudarán a aclarar los problemas conceptuales de la práctica científica. En este orden de ideas, el análisis de problemas en términos sociológicos relacionados, por ejemplo, con la vida experimental, le dará al didacta y al maestro alternativas argumentativas, conceptuales y críticas para orientar medios o formas como el laboratorio y las prácticas experimentales según objetivos pedagógicos.

Adicionalmente, el uso del programa fuerte señala una concepción específica sobre la ciencia. Ésta se asume como una institución social que como cualquier actividad humana está guiada por intereses y con unos usos y propósitos específicos. Es importante que el didacta y el maestro asuman una concepción sobre la ciencia porque ésta influye en las investigaciones didácticas, en la planeación de propuestas formativas y en la comprensión de los problemas disciplinares. Además, es un momento clave para la identificación de contenidos potencialmente formativos, ejemplos y objetivos pedagógicos que serán analizados según la didáctica teórico-formativa.

Los estudios metacientíficos respondiendo a cuestionamientos formativos

A continuación expondré algunos puntos relevantes extraídos del análisis sobre el movimiento galileano realizado anteriormente y que se deben tener en cuenta en el análisis didáctico según el enfoque teórico-formativo. No se trata de un análisis didáctico extenso sino de mirar los hallazgos del análisis conceptual y someterlos a las preguntas que propone Klafki. Tampoco es un ejercicio prescriptivo para otras propuestas formativas, se trata sólo de mostrar cómo el análisis conceptual se puede someter a cuestionamientos formativos. Así

las cosas, no será un ejercicio prescriptivo en el sentido de una “receta” pero sí será orientador y clarificador, y con base en la propuesta sistemática de Wolfgang Klafki, le dará al didacta y al maestro algunas herramientas conceptuales para las investigaciones didácticas y la preparación de propuestas formativas que deben ser ajustadas a las situaciones y contextos específicos.

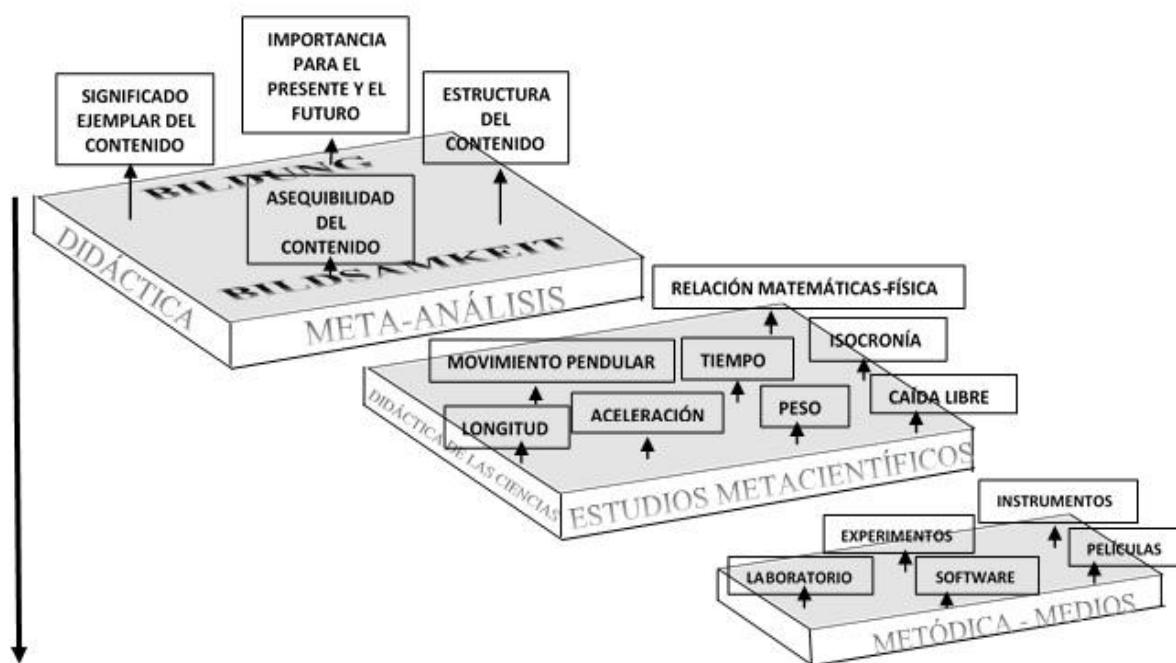


Figura 16

Niveles de análisis para la relación entre la didáctica teórico-formativa con los estudios metacientíficos

<p>SIGNIFICADO EJEMPLAR DEL CONTENIDO</p>	<p>La carta a Guidobaldo del Monte permite comprender que la aceleración es una característica del plano inclinado y que el péndulo es un instrumento útil para percibirlo.</p> <p>Este tema es ejemplar, representativo, típico, del tiempo como un factor importante del plano inclinado y el péndulo</p>	<p>Aquí se responde concretamente la pregunta sobre qué fenómeno fundamental, principio básico, criterio, problema, método, técnica, actitud se puede comprender de una manera ejemplar a partir de la relación con ese contenido.</p>
--	---	--

Es muy importante que los educandos evidencien en lo particular –observar y medir en el plano inclinado y el péndulo– una idea general como la de los cuerpos que caen libremente. Adicionalmente, mediante este tema los estudiantes pueden comprender que la proliferación de explicaciones/teorías científicas están determinadas por la legitimación colectiva, como en el caso de los mecenas de Galileo y, en particular de Guidobaldo del Monte.

IMPORTANCIA PARA EL PRESENTE Y EL FUTURO

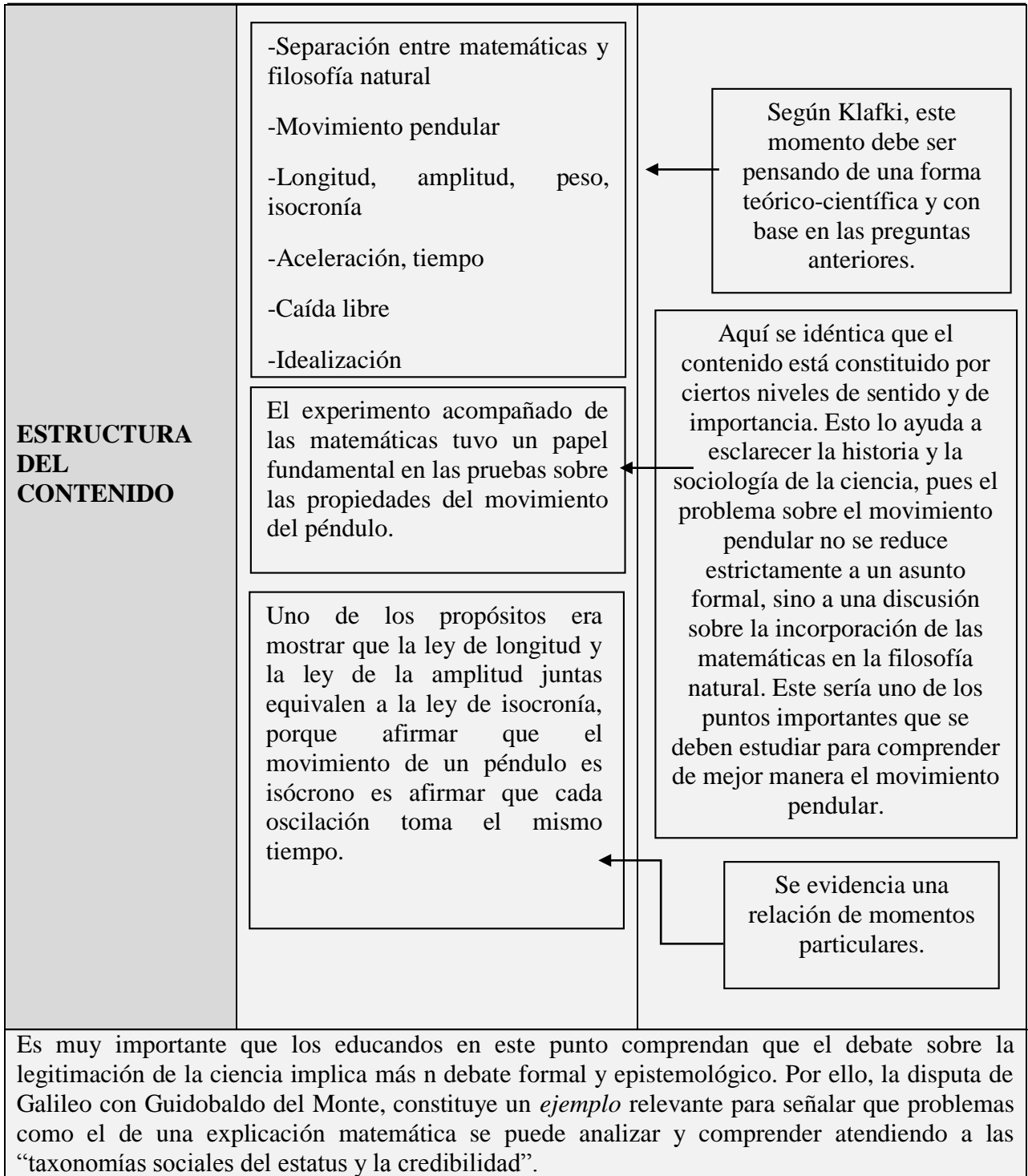
Los problemas que se derivan de la observación y medición con el plano inclinado y el péndulo contribuyen a comprender la caída libre de los cuerpos. Una problematización al respecto de este fenómeno es importante para los educandos porque los incentiva a reflexionar sobre la naturaleza básica de los movimientos como se observan en el mundo. Contribuye a que los estudiantes piensen problemas sobre la ciencia colectivamente y a que sean conscientes que todas sus explicaciones deben ser sometidas a evaluación crítica por la comunidad científica.

Este tema ofrece los elementos necesarios para relacionar y dotar, actualmente y en el futuro, de significado físico a las representaciones geométricas.

Como es un tema pensado bajo objetivos pedagógicos, las diferentes formas y prácticas llevadas a cabo por Galileo para estudiar el tiempo, la aceleración, etc., mediante el uso del péndulo y del plano inclinado, incentiva los procesos creativos de los educandos. Esto sitúa el contenido en la vida futura de los estudiantes en la medida que se espera que éstos lleven a cabo esos mismos procesos creativos y críticos en otras situaciones. Se trata de mostrar que la práctica científica no es una práctica abstracta y realizada por sujetos epistémicos idealizados, sino de una práctica cuya dinámica es fluctuante, con obstáculos y errores.

Aquí se identifica la importancia del contenido para la vida espiritual de los educandos.

Se señala la importancia del tema para el futuro del educando evidenciando, además, la relevancia del contenido para el futuro y para su vida intelectual.



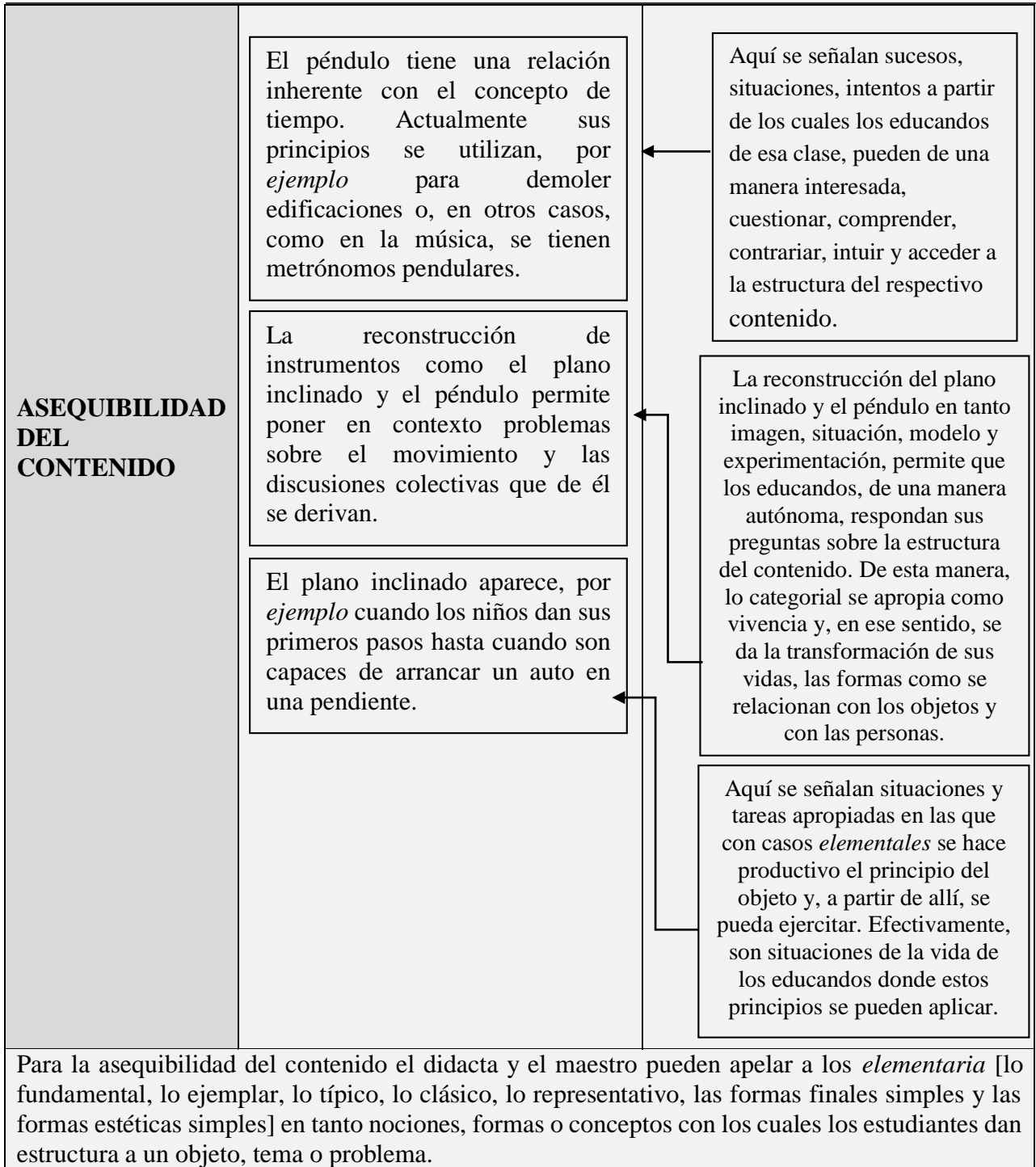


Tabla 2
Relación entre la didáctica teórico-formativa y los estudios metacientíficos

Como se puede observar, los puntos que forman parte del análisis didáctico superan los enfoques reduccionistas de las teorías formales y materiales mediante una síntesis no

aditiva que involucra la importancia de los contenidos en el contexto de las capacidades de los educandos. De ahí que la formabilidad (*Bildsamkeit*) sea un aspecto fundamental en tanto condición de posibilidad para la formación (*Bildung*).

La propuesta teórico-formativa y crítico-constructiva de Klafki, le ofrece los elementos conceptuales/didácticos al didacta y al maestro para orientar el análisis didáctico y la preparación de clase o propuesta formativa. De este modo, el didacta y el maestro adquieren un papel fundamental en la producción de conocimiento porque debe conocer muy bien las dinámicas disciplinares –no sólo como materias sino como un contenido cultural–, los espacios y contextos formativos, debe vincular los objetos culturales con objetivos pedagógicos, situar teorías del aprendizaje que se correspondan con los planteamientos didácticos –como el caso de Jerome Bruner para el enfoque teórico-formativo– y abordar los medios y formas de apropiación del contenido en el mismo plano de los objetivos pedagógicos.

En efecto, al respecto de las metódicas hay que recordar que éstas se encuentran en el nivel de consideraciones prácticas. Esto es, organizar la enseñanza en fases, elegir las formas de enseñanza y medios adecuados y el logro de los presupuestos organizativos para la enseñanza. La consideración metódica, en palabras de Roth (1970) consiste en “la anticipación mental y tentativa de la controversia entre el educando y el objeto en la cabeza y en el corazón del maestro, antes de que la real comience en la hora de clase” (p. 31). Se trata, entonces de analizar adecuadamente el proceso de enseñanza según la particularidad del objeto y el sujeto. Y como la metódica está en la misma línea de los objetivos pedagógicos, en consecuencia, se deben evidenciar los puntos de contacto vitales entre el objeto y el educando. Este punto es central porque los medios utilizados en la enseñanza son intermediarios de objetivos y temas (Klafki, 1985).

En este sentido, el uso del laboratorio, los experimentos, libros de texto, el uso de instrumentos, mapas, software, proyección y análisis de películas, etc., deben someterse a análisis en relación con los procesos de aprendizaje adecuados a los objetivos y “como incentivos e intermediarios (o limitaciones) de los procesos sociales de aprendizaje destinados al uso de manera indicada en la clase” (Klafki, 1985, p. 283).

En la figura 16 muestro el nivel meta-analítico que le otorgo a la didáctica. Para el caso de la didáctica teórico-formativa se puede analizar, con base en los conceptos de formación (Bildung) y formabilidad (Bildsamkeit), uno de los aspectos específicos de la enseñanza como el de los contenidos con el fin de buscar el *bildungsgehalt* (contenido formativo) que puede o no tener el uso de los estudios metacientíficos. El esquema señala la relación entre los estudios metacientíficos y la didáctica teórico-formativa, y evidencia que no es posible resolver los problemas sobre la formación sólo con los estudios metacientíficos. Señala, además, la importancia de pensar los contenidos disciplinares sin subordinarlos a lo que las ciencias –que no tienen como objeto la formación ni la educación– dictan. Adicionalmente, se incluye la metódica y los medios con instancias necesarias que se deben corresponder con los objetivos pedagógicos. El análisis didáctico expuesto es orientador y puede contribuir a la comprensión de problemas teóricos y prácticos. Así, para la didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung), la fundamentación, investigación y crítica constituye su aspecto esencial en tanto así se puede producir conocimiento. Esto no es otra cosa que estar en la línea que asume⁶⁶ que la didáctica general –que no es un método general de enseñanza como lo acabo de mostrar– es una subdisciplina de la pedagogía o ciencia de la educación [Erziehungswissenschaft] que aborda, desde la teoría y la praxis, la enseñanza como una situación compleja (maestro, alumno, método, medios, contenidos, fines, condiciones, tiempos, espacios, etc.) (Runge, 2013).

¿Cuál es el sentido formativo que tiene el uso de los estudios metacientíficos en la enseñanza de las ciencias? Problematización del ideal de ser humano que se quiere formar mediante la educación en ciencias

Finalmente, en la línea de la didáctica teórico-formativa y la antropología pedagógica, es importante indagar por la finalidad de la formación en relación con el tipo de ser humano que se pretende formar. Precisamente porque como lo sostiene Kamper (1994), quien desea educar debe saber lo que el hombre es y lo que él puede o debe ser. A mi modo de ver, esto es consecuente con que los educandos tienen unos contextos sociales cambiantes y por ello los objetivos pedagógicos y las prácticas educativas deben ajustarse a esas situaciones y

⁶⁶ (Flechsigt, 1979, 1996; Klafki, 1977, 1991; Peterßen, 2001).

realidades específicas, dado que éstas tienen efectos en la formación de los educandos y en la construcción de su subjetividad con los otros y con el mundo.

Esa realidad cambiante implica la formación de seres humanos capaces de interpretar, criticar y transformar los contenidos científicos que usualmente son presentados bajo una racionalidad ahistórica y con ideas de progreso que principalmente obedecen a supuestos ideológicos/políticos enfocados en la dominación y el crecimiento económico. Se trata de la formación de individuos que estén en capacidad de enfrentar e interpretar la cultura científica en la que se encuentran, donde sólo “los científicos especializados tienen el control masivo de las condiciones de su credibilidad” y donde “en cualquier momento histórico, lo que se acepta como explicación científica tiene determinantes y funciones sociales” (Shapin, 2010). Claramente se trata de un ideal de formación para la emancipación, la capacidad de auto y codeterminación, para ser críticos, emitir juicios y para incentivar la capacidad individual y sociopolítica con el propósito de enfrentar los obstáculos mediante el cambio de las condiciones. No obstante, Klafki (1985) sostiene que

como tales acciones y cambios no suelen ser iniciados o sostenidos por cada individuo con miras al éxito porque no se trata sólo de la realización de sus propias posibilidades y demandas, sino también de reivindicar y reconocer las posibilidades de las otras personas que están en situaciones similares, la capacidad de auto y codeterminación, de crítica y la capacidad de actuar, no pueden verse como capacidades individuales, sino que se deben vincular con la capacidad de actuar en grupos, con la capacidad de solidaridad. (p. 226)⁶⁷

Como se observa, se hace énfasis en un ideal de formación enfocado en la interacción crítica con los otros y con las nuevas experiencias y situaciones. Aquí emerge la idea de un sujeto con capacidad transformadora y que es capaz de decodificar mediante argumentos los propósitos de las afirmaciones con pretensiones de credibilidad que se incorporan y se desean

⁶⁷ Da solches Handeln und Verändern aber mit Aussicht auf Erfolg meist nicht vom je einzelnen in Gang gesetzt oder durchgehalten werden kann, da es überdies nie nur um die Durchsetzung eigener Möglichkeiten und Ansprüche, sondern immer zugleich um die entsprechenden Möglichkeiten und Ansprüche der in ähnlicher Lage Befindlichen geht; müssen Kritikfähigkeit, Selbst- und Mitbestimmungsfähigkeit, Anbahnung von Handlungsfähigkeit, sollen sie nicht individualistisch verkürzt werden, mit der Fähigkeit zum Handeln in Gruppen, zur Solidarität verbunden werden.

legitimar en la cultura científica. Este sujeto que se quiere formar con la ayuda de los contenidos culturales puede desprenderse de las líneas habituales de pensamiento, formular nuevas ideas y anticipar riesgos antes de adaptarse acríticamente a las posibilidades ofrecidas.

En síntesis, el tipo de ser humano que estoy describiendo como ideal de formación para enfrentar los diversos contextos y, en particular, el contexto científico actual, se puede comprender con los siguientes enunciados:

- ☞ Individuo que está en capacidad de interpretar, criticar y transformar los contenidos científicos presentados bajo una racionalidad ahistórica.
- ☞ Individuo capaz de enfrentarse con la idea de progreso en la ciencia que principalmente obedece a supuestos ideológicos/políticos enfocados en la dominación y el crecimiento económico.
- ☞ Individuo capaz de identificar cuándo la ciencia deviene en tecnología y técnica, las cuales se configuran como racionalidades instrumentales que tienen como propósito diluir la autonomía y operar bajo la lógica de la eficiencia. Al respecto, resulta interesante lo que sostiene Herbert Marcuse (2001):

Al manipular la máquina el hombre aprende que la obediencia a las instrucciones es la única manera de obtener los resultados deseados [...] No hay campo para la autonomía, la racionalidad individualista se ha convertido en una sumisión eficiente al continuo de medios y fines dado con anterioridad.
(p. 61)

- ☞ Individuo capaz de interpretar, contra-argumentar y criticar las explicaciones científicas y sus determinantes y funciones sociales.
- ☞ Es un ideal de formación enfocado en la emancipación, la capacidad de auto y codeterminación, la crítica, y la capacidad transformadora/creativa.
- ☞ Individuo que reivindica y reconoce las posibilidades de las otras personas que están en situaciones similares.
- ☞ Individuo capaz de decodificar mediante argumentos los propósitos de las afirmaciones con pretensiones de credibilidad que se incorporan y se desean legitimar en la cultura científica.

Los ideales de formación así entendidos, están pensados bajo la lógica de que el aprendizaje de los contenidos científicos no se reduce sólo al aprendizaje de los métodos y formas de trabajo en las ciencias, sino de asumir los contenidos científicos como contenidos culturales que tendrán efectos en los educandos cuando éstos consideran que son importantes para la comprensión de su realidad y del propio Yo. Así se logrará esa capacidad de crítica, juicio y acción.

Ahora bien, como lo mencioné al inicio de este capítulo, no se trata de aceptar imágenes o ideales de hombre con pretensiones de absolutez, sino de problematizar las construcciones que se proponen y que son relativas a los diversos contextos socioculturales. Me refiero aquí a que aunque se propongan imágenes de hombre o ideales de formación, éstos no dejan de ser criticables. De ahí la importancia de la antropología pedagógica en cualquier reflexión, análisis o investigación sobre educación y formación.

La formabilidad (*Bildsamkeit*) en tanto condición de posibilidad permite la formación (*Bildung*) y la educación de los seres humanos según las demandas del mundo. Esto quiere decir que la condición humana no se presenta como determinada o acabada, sino que se puede determinar y autodeterminar a lo largo de sus procesos de desarrollo y crecimiento. Por lo tanto, la formabilidad indica una apertura a la transformación y la formación que se pueden dar mediante la educación.

La idea de *apertura* es central para señalar la complejidad e imposibilidad de una formación y educación acabadas, pero ello no implica que sea ilimitada. Al respecto Herbart (1889) sostiene que “la pedagogía no puede suponer formabilidad alguna ilimitada [...] La indeterminabilidad del niño está limitada por su individualidad” (pp. 8-9), es decir, se encuentra restringida por una diversidad de “factores endógenos y depende de la estructura de las disposiciones individuales y del espacio vital social y cultural” (Süssmuth, 1981, p. 528). De esta manera, los ideales de ser humano que se proponen desde las teorías de la formación deben ser abordados según la contingencia de los contextos históricos y culturales, esto porque la idea teleológica de un ser perfecto aparece manifiesta en diversas formas de realización. Además, siendo claro que no se trata de presentar los ideales de formación como ideales absolutos que pueden devenir en ideología, sino, de atender a las fluctuaciones históricas, entonces la reconstrucción y crítica a las imágenes de ser humano y el análisis de

los procesos formación, se vuelve fundamental para entender que no es posible tener una idea única ni transhistórica de hombres y mujeres. Este planteamiento se identifica con la antropología crítica (Anthropologie-Kritik) propuesta por Kamper (1973) donde se rechaza una naturaleza humana estática y los planteamientos antropológicos que desean cosificarla, y con la antropología histórico-pedagógica que más que potenciar lo que he llamado la idea única y transhistórica del ser humano, más bien “historiza y relativiza ámbitos, aspectos y fenómenos de lo humano, de la vida humana y del hombre que hasta no hace mucho se solían tener por constantes antropológicas universales” (Runge, 2009, p. 51). Es evidente que el punto de encuentro es la historia. Por lo tanto, los ideales de formación puestos en juego mediante la pregunta ¿Cuál es el ideal de ser humano que se desea formar a través de la educación en ciencias? deben ser abordados y problematizados en términos histórico-sociales según lo que el ser humano fue y puede llegar a ser.

Esquema de una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung). Conceptos para la formación de maestros y las investigaciones didácticas

El propósito de este esquema es sintetizar mi propuesta de una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung) a través de los conceptos clave que he utilizado en este recorrido. Principalmente parto de la concepción según la cual la pedagogía es un campo disciplinar y profesional donde se producen teorías, metodologías, explicaciones, modelos, paradigmas, enfoques y donde los teóricos se organizan en comunidades o grupos de investigación con unos propósitos cognitivos específicos. Éstos pueden orientar la praxis, criticarla, problematizarla e investigarla. Para entenderlo de una mejor manera: así como los estudios metacientíficos tienen como objeto de estudio la ciencia, la pedagogía tiene como objeto de estudio la educación. En este sentido, sigo una línea donde se distingue al maestro quien puede realizar satisfactoriamente una actividad, del pedagogo o científico de la educación quien se encarga de analizar y hacer explícitas las propiedades de esa actividad. Una no es condición necesaria para la otra y ambas se pueden llevar a cabo de forma separada puesto que, al igual que en los estudios metacientíficos, se trata de distintos niveles de análisis, una cosa es el científico haciendo ciencia en el laboratorio y otra el sociólogo o el filósofo investigando sobre dicha práctica; así que cuando un maestro asume el papel de

investigar sobre la praxis educativa, sobre la formación, la construcción de subjetividades en diversos contextos, la enseñanza, el aprendizaje, problemas políticos y sociales, etc., cuando se relaciona –pedagógicamente– con otras disciplinas para abordar estos temas, no lo hace en tanto maestro sino como pedagogo y, del mismo modo, cuando un pedagogo asume el papel de la actividad educativa, no lo hace como pedagogo sino como maestro. En este sentido, el maestro debe realizar propuestas formativas (planeación de clase) que se correspondan con los criterios didácticos. Para nuestro caso particular, las licenciaturas donde se forman maestros en alguna especialidad, tendrán su soporte en una disciplina (ciencia) que orienta, mediante criterios científicos, la praxis educativa. La consistencia disciplinar-científica de la ciencia de la educación, ofrece la posibilidad, como ha sucedido en este trabajo, de no desviar los problemas sobre la enseñanza a otras disciplinas –aunque como es normal, las otras disciplinas le pueden ofrecer insumos para sus análisis–, y, por lo tanto, por esa misma consistencia disciplinar, tampoco tiene la necesidad –como sucede en algunas investigaciones actuales– de preguntarse por la importancia de la pedagogía para la formación de maestros o por la identidad profesional. Esto no quiere decir que sea ajena y tenga inmunidad frente a los debates epistemológicos, precisamente en tanto disciplina científica los encara, lo que quiere decir es que los debates, críticas, anomalías y crisis, no la disuelven en otros discursos disciplinares.

En síntesis, me refiero aquí a la Ciencia de la Educación (Erziehungswissenschaft) o pedagogía (Pädagogik) de la tradición alemana que ha enfocado su atención en los problemas sobre la educación (Erziehung), la formación (Bildung) y la formabilidad (Bildsamkeit).⁶⁸ Por supuesto, la pedagogía es cercana a otras disciplinas como la antropología, la filosofía, la sociología, la psicología, la historia, la teología, etc. De esta manera, en la línea argumentativa que he desarrollado este trabajo, los problemas relativos a la enseñanza de las ciencias (o de saberes particulares) no se desprenden de las mismas ciencias, deben pasar por la mirada de la pedagogía.

⁶⁸ Para ampliar el tema de la ciencia de la educación como profesión en Alemania y sus formas de institucionalización, se puede consultar el libro *Ensayos sobre pedagogía alemana* del profesor Andrés Klaus Runge (2008).

Hacia una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung)

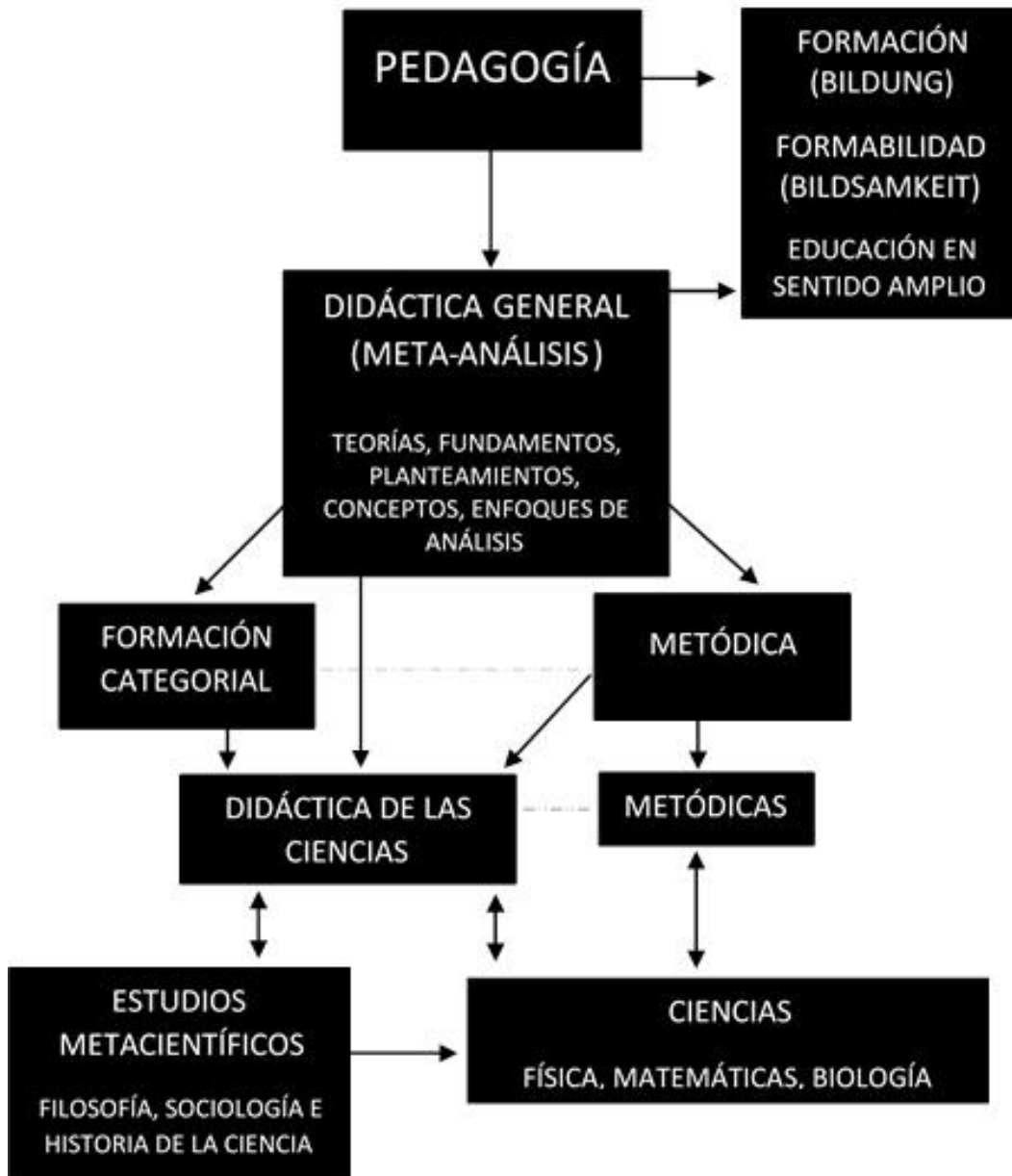


Figura 17
Hacia una didáctica de las ciencias enfocada en la formación (Bildung)

5

Conclusión

(Perspectivas de trabajo)

En el desarrollo de este trabajo de investigación he señalado algunos aspectos conceptuales que contribuyen a la formación de maestros y a problematizar, desde la pedagogía como un campo disciplinar y profesional y el programa fuerte de la sociología del conocimiento científico, la forma como se han venido incorporando los estudios metacientíficos en la didáctica de las ciencias.

Específicamente, he mostrado, desde el enfoque del programa fuerte, que la distinción *contexto de descubrimiento* y *contexto de justificación* de la cual parten los didactas de las ciencias para el estudio de los contenidos científicos, es inadecuada y conceptualmente insostenible si se tiene en cuenta que “el componente social del conocimiento está siempre presente y siempre es constitutivo del conocimiento” (Bloor, 1991, p. 166). En efecto, el componente sociológico permite aclarar la versión que sostiene que hay factores lógicos intrínsecos al conocimiento científico y factores sociales extrínsecos a él. En consecuencia, permite mostrar que aunque el didacta de las ciencias opte por atribuirle importancia al contexto de descubrimiento, sólo está recalcando una aparente distinción enfocada en una relativa autonomía de la ciencia y factores externos al margen de ella, que es, desde luego, una forma incorrecta para la comprensión del conocimiento científico. No obstante, en las investigaciones didácticas exploradas en este trabajo, encontré que la concepción que se tiene sobre la ciencia tiene mucha influencia en la forma como se problematizan, analizan y seleccionan tanto los contenidos científicos como los enfoques metacientíficos para su estudio. De ahí la importancia y necesidad de un enfoque como el programa fuerte que ayude,

orientado por criterios pedagógicos, a la formación de maestros en el contexto nacional y a nivel internacional.

En este sentido, los estudios de caso o análisis empíricos constituyen la vía correcta para mostrar por qué es necesario el análisis sociológico en la comprensión del conocimiento científico. En esta línea, analicé uno de los aspectos clave para la comprensión del movimiento galileano como lo es la relación entre las matemáticas y la filosofía natural, la cual tanto en los estudios histórico-filosóficos como en la didáctica de las ciencias se ha tratado de una forma separada o en lo que denominan una relación de constitución. Sin embargo, lo que se puede observar con base en el estudio de los manuscritos y correspondencias realizado en este trabajo, es que dicha relación es mucho más compleja por los diversos usos de la matemática y la experimentación que he estudiado apelando a las prácticas como un recurso explicativo tanto de la credibilidad como de sus diversas formas de institucionalización. De este modo, no es posible postular reglas generales ni de la credibilidad ni sobre una relación de constitución entre las matemáticas y la filosofía natural, lo más adecuado es abordar sus diversos usos y las diferentes formas en las que las matemáticas pueden o no relacionarse con la filosofía natural atendiendo, como lo plantea Biagioli (2008), a las taxonomías sociales del estatus y la credibilidad. Uno de los puntos a resaltar en relación con el estatus social de las matemáticas es que éstas, en el contexto de Galileo, gozan de una reputación cognitiva menor respecto de la filosofía natural, por ello atender a las diversas prácticas y los usos conceptuales resulta enriquecedor para explicitar los problemas, errores, obstáculos y transformaciones de los contenidos científicos.

En general, los estudios metacientíficos no resuelven los problemas sobre la educación ni la formación porque no es su objetivo. En particular, el análisis de los contenidos desde el enfoque del programa fuerte de la sociología del conocimiento científico no puede ser entendido como una forma de resolver los problemas pedagógicos. Aquí se evidenció una forma incorrecta de entender la didáctica de las ciencias en tanto las propuestas y modelos didácticos explorados, la fundamentan en disciplinas como la filosofía y la historia de la ciencia y le atribuyen una supuesta autonomía disciplinar, lo que deriva en aislarla de los problemas pedagógicos presentes en cualquier praxis educativa y por los que debe responder el didacta y el maestro. Por el contrario, la didáctica entendida como un subcampo

de la pedagogía no se reduce a problemas metódicos sobre la enseñanza. Ella involucra análisis sobre sus diversos enfoques, conceptos, teorías, modelos didácticos, investigaciones sobre aspectos específicos de la enseñanza como los contenidos, etc. En consecuencia, se refiere a aspectos prácticos y teóricos. Por ello, aunque la didáctica de las ciencias se sitúa en un nivel específico debe responder a cuestionamientos formativos, o bien, en primera instancia responder por las preguntas básicas de cualquier praxis educativa: *quién, a quién, qué, cómo, con qué, por qué, para qué y dónde*. Estas preguntas tienen un carácter pedagógico evidente y no se subordinan ni se pueden responder atendiendo exclusivamente a lo que dictan los contenidos y su propia estructura conceptual. De este modo, el programa fuerte puede ayudar al análisis conceptual de los contenidos científicos y la didáctica los debe someter a cuestionamientos formativos. Por ejemplo, relacionar las correspondencias de Galileo con Del Monte como una forma de institucionalización y de obtener credibilidad sobre una práctica, y explicitar los valores morales presentes en la dinámica científica a través de las críticas de Del Monte a Galileo. El punto es que enfocar la didáctica hacia el *qué* resulta insuficiente porque el análisis didáctico es mucho más complejo que la mera transmisión de conocimientos.

Aquí es donde se pueden trazar los puentes entre la didáctica teórico-formativa de Wolfgang Klafki y los estudios metacientíficos e incorporar el concepto de formación (Bildung) en la didáctica de las ciencias y la enseñanza. Atendiendo a la tradición pedagógica alemana, se encuentra, en lo que tiene que ver con la didáctica, que ésta es un subcampo de la pedagogía y, por lo tanto, su tarea no es sólo práctica sino también analítica y meta-analítica. De ahí que en esta investigación haya realizado un estudio sobre el enfoque teórico-formativo y crítico-constructivo que plantea Klafki con el fin de evaluar su capacidad para resolver los problemas que se propone. Uno de los aspectos más importantes es que en este enfoque didáctico no se renuncia al concepto de formación (Bildung), de hecho, Klafki expresa los peligros que puede tener cualquier postura didáctica que lo haga, a saber, la ausencia de crítica, el análisis ahistórico de los contenidos y mantener implícitos los intereses económicos, políticos, culturales e ideológicos que los constituyen. En contraste, dado que este enfoque didáctico está orientado por el concepto de formación (Bildung), entonces sus análisis tienen como propósito principal proporcionar las condiciones para la crítica, transformación de las condiciones, emancipación y capacidad de auto y codeterminación de

los individuos. Es decir, Bildung es un concepto que permite problematizar la formación de los seres humanos según su desarrollo espiritual, corporal e intelectual.

Como la didáctica teórico-formativa mantiene una apertura a temas potencialmente emancipatorios, sus análisis implican cuestionar pedagógicamente los contenidos, esto conlleva distinguir entre contenidos (Inhalt) y contenidos con contenido formativo (Bildungsgehalt). Estos últimos se corresponden con propósitos formativos dado que se analizan con base en tres principios pedagógicos que parten del concepto de formación (Bildung): *lo fundamental, lo elemental y lo ejemplar*, los cuales justifican el análisis didáctico y ofrecen los criterios formativos para la selección de los contenidos. Posteriormente, el análisis didáctico se realiza atendiendo a unas preguntas que buscan explicitar el contenido formativo que se encuentra en los contenidos: su significado ejemplar, su importancia para el presente y el futuro, la estructura del contenido y su asequibilidad. En este enfoque, el didacta y el maestro someten los contenidos a este análisis con el fin de determinar si los contenidos se pueden enseñar o no bajo los criterios teórico-formativos.

La incorporación del concepto de formación (Bildung) en la didáctica de las ciencias señala y problematiza el ideal de ser humano que se quiere formar, en este caso, a través de la educación en ciencias. Por ello, el didacta y el maestro de ciencias debe tener en cuenta las consecuencias antropológicas y socioculturales que se derivan de sus decisiones metódicas. Se trata de atender a la formabilidad (Bildsamkeit) de los educandos como una condición de posibilidad para que la socialización, la cultura, la subjetivación y, por lo tanto, el aprendizaje, la educación y la formación (Bildung) tengan sentido. De esta manera, las consideraciones antropológicas siempre tendrán un papel importante en las teorías de la formación, de ahí su relevancia para la didáctica teórico-formativa en tanto trabaja con la teoría de la formación categorial.

Según las consideraciones anteriores, es posible propender en la didáctica de las ciencias por contenidos que contribuyan a la formación (Bildung) crítica e interpretativa de los educandos, en la que éstos estén en capacidad de decodificar la racionalidad ahistórica con la que son presentados los contenidos científicos. El programa fuerte de la sociología del conocimiento científico puede ayudar, mediante el análisis conceptual de los contenidos, a explicitar, por ejemplo, los supuestos ideológico/políticos constitutivos de la actividad

científica. Así, de lo que se trata es de una formación (Bildung) en la que los educandos puedan enfrentar la cultura científica en la que se encuentran, donde como en cualquier organización social, se da la lucha por la credibilidad con el objetivo de mantener su control. De esta manera, se trata de una formación (Bildung) orientada hacia la emancipación, la auto y codeterminación, la crítica y la capacidad transformadora/creativa. No obstante, se debe señalar que la formabilidad (Bildsamkeit) indica una apertura a la transformación y la formación que se pueden dar mediante la educación. Por ello, los ideales de formación no se pueden presentar como imágenes estáticas ni acabadas, sino que se pueden determinar y autodeterminar según los procesos desarrollo y crecimiento. Ahora bien, tales imágenes e ideales de formación deben ser abordados según las fluctuaciones histórico-culturales sin tratar de presentar ideales absolutos. La antropología pedagógica como una antropología crítica tiene el papel de problematizar los procesos de formación con el objetivo de comprender que no es posible obtener una idea única ni transhistórica de formación (Bildung).

La incorporación del concepto de formación (Bildung) en la didáctica de las ciencias señala, en consecuencia, la imposibilidad de reducir la didáctica al *qué*, la necesidad de explicitar los contenidos formativos y las consecuencias antropológicas y socioculturales que se derivan de las decisiones metódicas. En esta misma línea, se puede hacer uso de los estudios metacientíficos como análisis conceptuales que contribuyen al estudio de los contenidos, pero no como disciplinas que fundamentan la didáctica ni resuelven problemas pedagógicos, de ahí la importancia de someter los estudios metacientíficos, también, a cuestionamientos formativos.

Así las cosas, queda planteado un enfoque de análisis para la formación de maestros y las investigaciones didácticas, donde el programa fuerte de la sociología del conocimiento científico se postula como un enfoque de análisis adecuado para la comprensión de la práctica científica en la didáctica de las ciencias toda vez que se aborde en clave formativa, a saber, desde la didáctica teórico-formativa de Wolfgang Klafki.

Referencias

- Abrougui-Hattab, H. (2007). Un objet d'étude de la didactique des disciplines scientifiques: les conceptions des apprenants. *Lumières-Supplément Didactique*, 17.
- Adúriz-Bravo, A. (1999). La didáctica de las ciencias como disciplina. *Enseñanza & Teaching: Revista Interuniversitaria de Didáctica*, 17(0).
- Adúriz-Bravo, A. (2005). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores deficiencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecne, Episteme Y Didaxis*, 23–33.
- Adúriz-Bravo, A., & Izquierdo, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 1(3), 130–140.
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M., & Estany, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la Filosofía de la Ciencia para el profesorado de Ciencias en formación. *Enseñanza de Las Ciencias*, 20(3), 465–476.
- Ahlborn, H., Pahl, J.-P., & Hering, D. (Eds.). (1998). *Didaktische Vereinfachung - eine kritische Reprise des Werkes von Dietrich Hering*. Seelze-Velber: Kallmeyer.
- Aristóteles. (1995). *Tratados de Lógica (Organon) II*. (M. Candel, Trad). Madrid: Gredos.
- Audi, R. (2004). *Diccionario Akal de Filosofía*. Ediciones Akal.
- Audi, R. (2015). *The Cambridge Dictionary of Philosophy*. Cambridge University Press.
- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Revista Pro-Posições*, 17(1), 4.
- Barnes, B., Bloor, D., & Henry, J. (1996). *Scientific knowledge: a sociological analysis*. Chicago: University of Chicago Press.
- Barozzi, F. (1560). *Opusculum, in quo una Oratio, et duae Quaestiones: altera de certitudine, et altera de medietate Mathematicarum continentur*, Padua: Excudebat Gratosus Perchacinus.

- Bertoloni-Meli, D. (2006). *Thinking with Objects: The Transformation of Mechanics in the Seventeenth Century*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Biagioli, M. (2008). *Galileo cortesano: la práctica de la ciencia en la cultura del absolutismo*. Buenos Aires: Katz Editores.
- Biancani, G. (1615). *De mathematicarum natura dissertatio*. Bolonia: B. Cocchi.
- Blankertz, H. (1981). Didáctica. En *Conceptos fundamentales de pedagogía* (pp. 130–189). Barcelona: Herder.
- Bloor, D. (1973). Wittgenstein and Mannheim on the sociology of mathematics. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 4(2), 173–191. [https://doi.org/10.1016/0039-3681\(73\)90003-4](https://doi.org/10.1016/0039-3681(73)90003-4)
- Bloor, D. (1991). *Knowledge and Social Imagery*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- Bloor, D. (1998). *Conocimiento e imaginario social*. Barcelona: Gedisa.
- Bloor, D., & Barnes, B. (1982). Relativism, Rationalism and the Sociology of Knowledge. En *Hollis, M. & Lukes, S. Rationality and relativism* (Vols. 1–Bloor, pp. 21–47). Oxford: Blackwell.
- Bollnow, O. F. (1971). Educar para la independencia de criterio. *Educación, (Tübingen)*, 4, 23–26.
- Brousseau, G. (1984). Le rôle central du contract didactique dans l'analyse et la construction des situations d'enseignement et d'apprentissage des mathématiques. Olivet-Francia.
- Brousseau, G. (1990). ¿Qué pueden aportar a los enseñantes los diferentes enfoques de la Didáctica de las Matemáticas? (Primera parte). *Enseñanza de Las Ciencias*, 8(3), 259–267.
- Brousseau, G. (1991). ¿Qué pueden aportar a los enseñantes los diferentes enfoques de la didáctica de las matemáticas? (Segunda parte). *Enseñanza de Las Ciencias*, 9(1), 010–21.
- Brousseau, G. (2007). *Iniciación al estudio de la teoría de las situaciones didácticas*. Buenos Aires: Libros del Zorzal.
- Butterfield, H. (1958). *Los orígenes de la ciencia moderna*. España: Taurus

- Burtt, E. A. (1954). *The metaphysical foundations of modern science*. Mineola, N.Y: Dover Publications.
- Caillot, M. (2007). The Building of a New Academic Field: The Case of French Didactiques. *European Educational Research Journal*, 6(2), 125–130.
- Catena, P. (1563). *Oratio pro idea methodi*. Pud Gratosum Derchacinum (IS), Padua: Percacino, Grazioso.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné* (2. éd). Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- Chevallard, Y. (2007). Readjusting didactics to a changing epistemology. *European Educational Research Journal*, 6(2), 131–134.
- Comenio, J. A. (2003). Capítulo X Didáctica analítica I. Trad. Runge, A.K. *Revista Educación Y Pedagogía*, XV(37).
- Cohen, I. (1989). *Revolución en la ciencia. De la naturaleza de las revoluciones científicas, de sus etapas y desarrollo temporal, de los factores creativos que generaron las ideas y de los criterios específicos que permiten determinarlas*. (D. Zadunaisky, Trad.). Barcelona: Gedisa
- Crombie, A. C. (1990). *Science, Art and Nature in Medieval and Modern Thought*. London: The Hambledon Press.
- De Tezanos, A. (2010). Didáctica-pedagogía-ciencia de la educación: la relación que confirma la “excepción” francesa. *Revista Educación Y Pedagogía*, 18(46).
- Dear, P. (1995). *Discipline and Experience: The Mathematical Way in the Scientific Revolution*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- Dear, P. (2009). *Revolutionizing the Sciences: European Knowledge and its Ambitions, 1500-1700*. Houndmills: Palgrave Macmillan.
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2005). *The Sage Handbook of Qualitative Research*. SAGE.
- Dilthey, W. (2000). *Dos escritos sobre hermenéutica. El surgimiento de la hermenéutica y los esbozos para una crítica de la razón histórica*. Ediciones AKAL.

- Drake, S. (1975a). Galileo's New Science of Motion. En M. L. R. Bonelli & W. Shea (Eds.), *Reason, experiment, and mysticism in the scientific revolution* (pp. 131–156). New York: Science History Publications.
- Drake, S. (1975b). The Role of Music in Galileo's Experiments. *Scientific American*, 232(6), 98–104. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0675-98>
- Drake, S. (1978). *Galileo at Work: His Scientific Biography*. Chicago: University of Chicago Press.
- Drake, S., & Drabkin, I. E. (1969). *Mechanics in sixteenth-century Italy: Selections from Tartaglia, Benedetti, Guido Ubaldo, & Galileo* (First Edition edition). Madison: University of Wisconsin Press.
- Driver, R. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham; Bristol, PA: Open University Press.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
- Ducheyne, S. (2006). Galileo's Interventionist Notion of "Cause." *The Journal of the History of Ideas*, 67(3), 443–464.
- Duschl, R. (1990). *Restructuring Science Education: The Importance of Theories and Their Development*. New York: Teachers College Press.
- Duschl, R. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 13(1), 3–14.
- Duschl, R., & Hamilton, R. J. (1992). *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*. New York: SUNY Press.
- Duschl, R., & Osborne, J. (2002). Supporting and Promoting Argumentation Discourse in Science Education. *Studies in Science Education*, 38(1), 39–72. <https://doi.org/10.1080/03057260208560187>
- Feldhay, R. (1998). The use and abuse of mathematical entities: Galileo and the Jesuits revisited. En *The Cambridge Companion to Galileo* (pp. 80–145). Cambridge: Cambridge University Press.
- Ferreirós, J., & Ordóñez, J. (2002). Hacia una filosofía de la experimentación (Towards a Philosophy of Experiment). *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 47–86.

- Finocchiaro, M. (2010). *Defending Copernicus and Galileo: Critical Reasoning in the Two Affairs*. Heidelberg, London, New York: Springer Science & Business Media.
- Flechsigt, K.-H. (1979). Sobre modelos didácticos y su catalogación. *Educación, (Tübingen)*, 19, 7–23.
- Flechsigt, K.-H. (1996). *Kleines Handbuch didaktischer Modelle*. Neuland.
- Gadamer, H.-G. (2003). *Verdad y Método*. Salamanca: Ediciones Sígueme.
- Galilei, G. (1603a, 1604). *Folio 107v*. Biblioteca Nazionale Centrale/Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze.
- Galilei, G. (1603b, 1604). *Folio 152r*. Biblioteca Nazionale Centrale/Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze.
- Galilei, G. (1604). *Folio 128r*. Biblioteca Nazionale Centrale/Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze.
- Galilei, G. (1891). *Le opere di Galileo Galilei : edizione nazionale sotto gli auspicii di sua maestà il re d'Italia*. (A. Favaro, Ed.) (Vol. 2). Firenze: G. Barbera.
- Galilei, G. (1900). *Le opere di Galileo Galilei : edizione nazionale sotto gli auspicii di sua maestà il re d'Italia*. (A. Favaro, Ed.) (Vol. 10). Firenze: G. Barbera.
- Galilei, G. (1901). *Le opere di Galileo Galilei : edizione nazionale sotto gli auspicii di sua maestà il re d'Italia*. (A. Favaro, Ed.) (Vol. 11). Firenze: G. Barbera.
- Galilei, G. (1914). *Dialogues Concerning Two New Sciences*. (H. Crew & A. D. Salvio, Trans.). New York: The Macmillan Company.
- Galilei, G. (1960). *The Assayer*. (S. Drake y C. O'Malley, Trad.) En *The Controversy on the Comets of 1618*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- Galilei, G. (1994). *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. (A. Beltrán, Trad.). Madrid: Alianza.
- Galilei, G. (2003). *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias*. (J. Román, Trad.). Buenos Aires: Losada.
- Galilei, G. (n.d.). *De Motu Antiquiora*. (R. Fredette, Trad.). Alemania.
- Garcés, J. F. (2011). Didáctica, narrativas e investigación educativa. En *Simposio internacional de Narrativas en Educación. Subjetividad y Formación*. Medellín: Universidad de Antioquia.

- Giacobbe, G. (1972a). Francesco Barozzi e la quaestio de certitudine mathematicarum. *Physis, Rivista Internazionale Di Storia Della Scienza*, XIV(4).
- Giacobbe, G. (1972b). Il Commentarium de certitudine mathematicarum disciplinarum di Alessandro Piccolomini. *Physis, Rivista Internazionale Di Storia Della Scienza*, XIV(2).
- Giacobbe, G. (1972c). La quaestio de certitudine mathematicarum all'interno della Scuola Padovana. En *Atti del Convegno Internazionale di Storia della Logica, Società Italiana di Logica e Filosofia delle Scienze*.
- Giacobbe, G. (1973). Alcune cinquecentine riguardanti il processo di rivalutazione epistemologica della matematica nell'ambito della rivoluzione scientifica rinascimentale. *La Berio, Bollettino Bibliografico Quadrimestrale*, XIII(2–3).
- Giacobbe, G. (1976). Epigoni nel Seicento della quaestio de certitudine mathematicarum: Giuseppe Biancani. *Physis, Rivista Internazionale Di Storia Della Scienza*, XVIII(1).
- Giacobbe, G. (1977). Un gesuita progressista nella quaestio de certitudine mathematicarum rinascimentale: Benito Pereyra. *Physis, Rivista Internazionale Di Storia Della Scienza*, XIX(2).
- González de la Fe, T., & Sánchez, J. (1988). Las sociologías del conocimiento científico. *Reis*, 75–124.
- González, S. (1995). *Manual de redacción e investigación documental*. México: Trillas.
- Guerrero, G. (2015). *Introducción a la filosofía de la ciencia. Documentos de trabajo* (4. ed). Cali (Valle, Colombia): Universidad del Valle.
- Hahn, A. J. (2002). The Pendulum Swings Again: A Mathematical Reassessment of Galileo's Experiments with Inclined Planes. *Archive for History of Exact Sciences*, 56(4), 339–361. <https://doi.org/10.1007/s004070200048>
- Hall, A. R. (2009). *Ballistics in the Seventeenth Century: A Study in the Relations of Science and War with Reference Principally to England*. Cambridge University Press.
- Hall, A. R. (1985). La revolución científica: 1500-1750. (J. Beltrán, Trad.). Barcelona: Crítica.
- Halté, J.-F. (1998). L'espace didactique et la transposition. *Pratiques: Théorie, Pratique, Pédagogie*, (97), 171–192.
- Hegel, G. W. F. (2000). *Escritos pedagógicos*. México: Fondo de Cultura Económica.

- Heidegger, M. (1971). *El ser y el tiempo*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Henry, J. (2011). Galileo and the scientific revolution: The importance of his kinematics. *Galileana*, XVIII, 3–36.
- Herbart, J. F. (1889). *Umriß pädagogischer Vorlesungen*. Leipzig: P. Reclam.
- Hering, D. (1959). *Zur Fasslichkeit naturwissenschaftlicher und technischer Aussagen*. Berlin (Ost).
- Hering, D. (1963). *Didaktik der Berufsbildung: Merkblätter zur Didaktik der Berufsbildung*, Volumen 3, Verlag Technik,
- Hodson, D. (2003). Time for Action: Science Education for an Alternative Future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645–70.
- Hodson, D. (2008). *Towards Scientific Literacy: A Teacher's Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science*. Rotterdam, Boston, Taipei: Sense Publishers.
- Hodson, D. (2009). *Teaching and Learning about Science: Language, Theories, Methods, History, Traditions and Values*. Rotterdam, Boston, Taipei: Sense Publishers.
- Honderich, T. (2005). *The Oxford Companion to Philosophy*. OUP Oxford.
- Höttecke, D., & Silva, C. (2011). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education*, 20((3-4)), 293–316.
- Izquierdo, M., & Estany, A. (2001). Didactología: una ciencia de diseño. *Éndoxa*, 1(14), 13–33.
- Jank, W., & Meyer, H. (2008). *Didaktische Modelle*. Cornelsen Scriptor.
- Jardine, N. (1988). Epistemology of the Sciences. En C. B. Schmitt, Q. Skinner, & E. Kessler (Eds.), *The Cambridge History of Renaissance Philosophy* (pp. 685–711). Cambridge: Cambridge University Press.
- Jesseph, D. M. (1999). *Squaring the Circle: The War Between Hobbes and Wallis*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (1995). Comparando teorías: la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia en la formación del profesorado. En *La formación del profesorado de ciencias y matemáticas en España y Portugal* (Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas de la Universidad de Extremadura, pp. 267–272). Badajoz: Diputación Provincial de Badajoz.

- Jolles, A. (1971). *Las formas simples*. Editorial Universitaria.
- Kamper, D. (1973). *Geschichte und menschliche Natur: die Tragweite gegenwärtiger Anthropologie-Kritik*. München: Hanser.
- Kamper, D. (1994). Neuere Ansätze zu einer „pädagogischen Anthropologie“. En C. Wulf & J. Zirfas (Eds.), *Theorien und Konzepte der pädagogischen Anthropologie* (1. Aufl.). Donauwörth: Auer.
- Kansanen, P. (1998). *The Deutsche Didaktik and the American Research in Teaching* (Vol. 2). Umea University: TNTEE Publication.
- Kant, I. (2003). *Pedagogía*. Madrid: Ediciones AKAL.
- Klafki, W. (1957). *Das pädagogische Problem des Elementaren und die Theorie der kategorialen Bildung*. Weinheim/Bergstr: Verlag Julius Beltz.
- Klafki, W. (1962). Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsgestaltung. *Die Deutsche Schule*, (651), 5–34.
- Klafki, W. (1975). *Studien zur Bildungstheorie und Didaktik*. Beltz.
- Klafki, W. (1977). Probleme einer Neukonzeption der didaktischen Analyse. *Pädagogisches Institut Der Landeshauptstadt Düsseldorf*, (34), 1–26.
- Klafki, W. (1985). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik* (Beltz Verlag). Germany.
- Klafki, W. (1991). Sobre la relación entre didáctica y metódica. *Revista Educación Y Pedagogía*, 2(5), 85–108.
- Klafki, W. (1993). Curriculum - Didáctica. En W. Küper (Ed.), *Currículo y didáctica general: contribuciones científicas de la pedagogía alemana* (pp. 11–30). Quito-Ecuador: Proyecto EBI [u.a.].
- Klafki, W. (1994). Grundzüge kritisch-konstruktiver Erziehungswissenschaft. En *Erziehung - Humanität - Demokratie: Erziehungswissenschaft und Schule an der Wende zum 21. Jahrhundert ; neun Vorträge*. Marburg.
- Klafki, W. (1995a). Didactic analysis as the core of preparation of instruction (Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung). *Journal of Curriculum Studies*, 27(1), 13–30. <https://doi.org/10.1080/0022027950270103>
- Klafki, W. (1995b). Zum Problem der Inhalte des Lehrens und Lernens in der Schule aus der Sicht kritisch-konstruktiver Didaktik. En *Didaktik und/oder Curriculum:*

- Grundprobleme einer international vergleichenden Didaktik* (pp. 91–102). Weinheim: Beltz Juventa.
- Klafki, W. (2003). Selbstständiges Lernen muss gelernt werden! En F. Stübzig & C. Schäfer (Eds.), *Selbstständiges Lernen in der Schule* (pp. 19–57). Kassel: Kassel Univ. Pr. GmbH.
- Koyré, A. (1966). *Études galiléennes*. Paris: Hermann.
- Kuhn, T. S. (2011). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1987). *Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales: simposio*. Madrid: Tecnos.
- Lakatos, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331–359. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290404>
- López, F. (1990). Epistemología y didáctica de las ciencias. Un análisis de segundo orden. *Enseñanza de Las Ciencias*, 8(1), 65–74.
- Machamer, P. (1978). Galileo and the Causes. En *New Perspectives on Galileo* (Vol. 14, pp. 161–180). Dordrecht: Reidel Publishing Company. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-009-9799-8_5#close
- Machamer, P. (1998). Galileo's machines, his mathematics and his experiments. En *The Cambridge Companion to Galileo* (pp. 53–79). Cambridge: Cambridge University Press.
- Machamer, P., & Hepburn, B. (2005). Galileo and the Pendulum: Latching on to Time. En M. R. Matthews, C. F. Gault, & A. Stinner (Eds.), *The Pendulum* (pp. 99–113). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3526-8_8
- Machamer, P., & Woody, A. (1994). A model of intelligibility in science: Using Galileo's balance as a model for understanding the motion of bodies. *Science & Education*, 3(3), 215–244. <https://doi.org/10.1007/BF00540155>
- MacKenzie, D. A. (1993). *Inventing Accuracy: A Historical Sociology of Nuclear Missile Guidance*. Cambridge: MIT Press.

- Malagón, F., Sandoval, S., & Ayala, M. M. (2013). La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización. *Praxis Filosófica*, 36, 119–138.
- Mancosu, P. (1992). Aristotelian logic and Euclidean mathematics: Seventeenth-century developments of the Quaestio de certitudine mathematicarum. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 23(2), 241–265.
- Marcuse, H. (2001). *Guerra, tecnología y fascismo: textos inéditos*. Universidad de Antioquia.
- Martin, M. (1985). *Concepts of Science Education: A Philosophical Analysis*. Boston: University Press of America.
- Martínez, S., & Huang, X. (2011). Introducción: Hacia una filosofía de la ciencia centrada en prácticas. En *Historia, prácticas y estilos en la filosofía de la ciencia. Hacia una epistemología plural*. (pp. 5–63). México: UAM-Iztapalapa y Miguel Ángel Porrúa.
- Matthews, M. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York, London: Routledge.
- Matthews, M. (2000). *Time for Science Education: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion Can Contribute to Science Literacy*. New York: Springer Science & Business Media.
- Matthews, M. (2002). Foreword and introduction. En W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies* (pp. XI–XXI). New York: Springer Science & Business Media.
- Matthews, M. (2005a). *Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia*. México: UNAM.
- Matthews, M. (2005b). Idealisation and Galileo's Pendulum Discoveries: Historical, Philosophical and Pedagogical Considerations. En M. Matthews, C. Gauld, & A. Stinner (Eds.), *The Pendulum - Scientific, Historical, Philosophical and Educational Perspectives*. Netherlands: Springer.
- Matthews, M. (2009). *Science, Worldviews and Education: Reprinted from the Journal Science & Education*. New York: Springer Science & Business Media.
- Matthews, M., Colin, G., & Arthur, S. (2005). *The pendulum: scientific, historical, philosophical and educational perspectives*. New York: Springer Science & Business Media.

- McComas, W. F. (2002). *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. New York: Springer Science & Business Media.
- Meyling, H. (1997). How to Change Students' Conceptions of the Epistemology of Science. *Science & Education*, 6(4), 397–416. <https://doi.org/10.1023/A:1017908916810>
- Naylor, R. H. (1974). Galileo and the Problem of Free Fall. *The British Journal for the History of Science*, 7(2), 105–134.
- Naylor, R. H. (1977). Galileo's theory of motion: Processes of conceptual change in the period 1604–1610. *Annals of Science*, 34(4), 365–392. <https://doi.org/10.1080/00033797700200281>
- Naylor, R. H. (1982). Galileo's law of fall: Absolute truth or approximation. *Annals of Science*, 39(4), 384–389. <https://doi.org/10.1080/00033798200200491>
- Niaz, M. (2011). *Innovating Science Teacher Education: A History and Philosophy of Science Perspective*. New York: Routledge.
- Ochoa, F. (2013). De la subordinación a la hegemonía. Sobre la legitimación epistemológica de las matemáticas en la filosofía natural en el siglo XVII. *Revista Civilizar Ciencias Sociales Y Humanas*, 13(25), 125–176.
- Orozco, S. (2014). Sobre la identidad del sujeto en la institucionalización de las teorías científicas. *Estudios de Filosofía*, (49), 49–66.
- Pereira, B. (1591). *De communibus omnium rerum naturalium principiis & affectionibus: Libri XV*. Venice: Úndream Muschium.
- Peterßen, W. H. (1993). Didáctica y currículum/programa de estudios. En W. Küper (Ed.), *Currículo y didáctica general: contribuciones científicas de la pedagogía alemana* (pp. 31–55). Quito-Ecuador: Proyecto EBI [u.a.].
- Peterßen, W. H. (2001). *Lehrbuch allgemeine Didaktik*. Oldenbourg.
- Piccolomini, A. (1565). *Commentarium de certitudine mathematicarum disciplinarum in his Alexandri Piccolominei In mechanicas quaestiones Aristotelis, paraphrasis paulo quidem plenior. Eiusdem commentarium de certitudine mathematicarum disciplinarum: in quo, de resolutione, diffinitione & demonstratione: necnon de materia, & in fine logicae facultatis, quamplura continentur ad rem ipsam, tum mathematicam, tum logicam, maxime pertinentia*. Venice: Apud Traianum Curtium.

- Pinch, T. (1985). Towards an Analysis of Scientific Observation: The Externality and Evidential Significance of Observational Reports in Physics. *Social Studies of Science*, 15(1), 3–36. <https://doi.org/10.1177/030631285015001001>
- Pomeroy, D. (1993). Implications of Teachers' Beliefs About the Nature of Science: Comparison of the Beliefs of Scientists, Secondary Science Teachers, and Elementary Teachers. *Science Education*, 77(3), 261–278.
- Popper, K. R. (1980). *Lógica de la Investigación Científica*. Buenos Aires: Paidós.
- Popper, K. R. (1991). *Conjeturas y refutaciones: el desarrollo del conocimiento científico*. Barcelona: Paidós.
- Porlán, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 16(1), 175–185.
- Porlán, R., Rivero, A., & del Pozo, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teoría, métodos e instrumentos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 15(2), 155–171.
- Quintanilla, M. (2003). Equidad y calidad de la educación científica en América Latina. Algunas reflexiones para un debate sobre los modelos de formación inicial y continua de los profesores de ciencia. *Encuentro Regional de Educación Científica*, 1–20.
- Quintanilla, M., Izquierdo, M., & Adúriz-Bravo, A. (2005). Characteristics and methodological discussion about a theoretical model that introduces the history of science at an early stage of the experimental science teachers' professional formation. *Science & Education IHPST*, 8.
- Reichenbach, H. (1938). *Experience and prediction: an analysis of the foundations and the structure of knowledge*. Chicago: University of Chicago Press.
- Reichenbach, H. (1968). *The rise of scientific philosophy*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- Remmert, T. (2005). Galileo, God and Mathematics. En *Mathematics and the Divine: A Historical Study*. Amsterdam: Elsevier.
- Rickenmann, R., Angulo, F., & Soto, C. A. (2012). *El museo como medio didáctico* (1. ed). Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

- Rodríguez, L. D., & Romero, Á. (2014). Desarrollos galileanos en el campo de la estática: una posible contribución a la enseñanza. *Revista Física Y Cultura, 1*(5). Recuperado de <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/RFC/article/view/2602>
- Romano, A. (2004). El estatuto de las matemáticas hacia 1600. En *Los orígenes de la Ciencia Moderna* (Actas Alis XI y XII, pp. 277–308). España: Fundación canaria de historia de la ciencia.
- Romero, Á., & Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Romo, J. (1985). *La física de Galileo. La problemática en torno a la ley caída de los cuerpos*. Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Roth, H. (1965). Empirische pädagogische Anthropologie. Konzeption und Schwierigkeiten. *Zeitschrift Für Pädagogik, 11*(3), 207–221.
- Roth, H. (1970). El buen arte de la preparación de la clase. *Revista Educación, 1*, 26–36.
- Roth, H. (1972). El hombre y su facultad de aprender. *Revista Educación (Tübingen), 6*, 7–15.
- Roth, H. (1983). *Pädagogische Psychologie des Lehrens und Lernens* (16. Aufl). Hannover: Schroedel.
- Rouse, J. (2002). *How Scientific Practices Matter: Reclaiming Philosophical Naturalism*. University of Chicago Press.
- Roux, S. (2010). Forms of Mathematization (14th-17th Centuries). *Early Science and Medicine, 15*, 319–337.
- Runge, A. K. (2008). *Ensayos sobre pedagogía alemana* (Primera edición). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Runge, A. K. (2009). La orientación fenomenológica del pensamiento de Otto Friedrich Bollnow y de Martinus Jan Langeveld, dos de los fundadores de la antropología pedagógica alemana. *Revista Educación y Pedagogía, 17*(42).
- Runge, A. K. (2013). Didáctica: una introducción panorámica y comparada. *Itinerario Educativo, 27*(62), 201–240.

- Salvia, S. (2014). Galileo's Machine: Late Notes on Free Fall, Projectile Motion, and the Force of Percussion (ca. 1638–1639). *Physics in Perspective*, 16(4), 440–460. <https://doi.org/10.1007/s00016-014-0149-1>
- Schaffer, S. (1988). Wallfaction: Thomas Hobbes on school divinity and experimental pneumatics. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 19(3), 275–298. [https://doi.org/10.1016/0039-3681\(88\)90001-5](https://doi.org/10.1016/0039-3681(88)90001-5)
- Schöttler, T. (2012). From Causes to Relations: The Emergence of a Non-Aristotelian Concept of Geometrical Proof out of the Quaestio de Certitudine Mathematicarum. *Societate Si Politica*, 6(2), 29–47.
- Schulz, W. (1971). Rasgos esenciales del análisis de la clase. *Revista Educación (Tübingen)*, 4, 38–48.
- Shapin, S. (1994). *A Social History of Truth: Civility and Science in Seventeenth-Century England*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- Shapin, S. (2005). Disciplina y delimitación: la historia y la sociología de la ciencia a la luz del debate externismo-internismo. En *Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia* (pp. 67–119). México: UNAM.
- Shapin, S. (2010). *Never Pure: Historical Studies of Science as If It Was Produced by People with Bodies, Situated in Time, Space, Culture, and Society, and Struggling for Credibility and Authority*. JHU Press.
- Shapin, S., & Schaffer, S. (2005). *El Leviathan y la bomba de vacío: Hobbes, Boyle y la vida experimental*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes Editorial.
- Shea, W. (1998). Galileo's Copernicanism: the science and the rethoric. En *The Cambridge Companion to Galileo* (pp. 211–243). Cambridge: Cambridge University Press.
- Süssmuth, R. (1981). Necesidad de la educación. En J. Speck & G. Wehle (Eds.), *Conceptos fundamentales de pedagogía* (pp. 522–542). Barcelona: Herder.
- Swerdlow, N. (1998). Galileo's discoveries with the telescope and their evidence for the Copernican theory. En *The Cambridge Companion to Galileo* (pp. 244–270). Cambridge: Cambridge University Press.
- Taber, K. S. (2009). *Progressing Science Education: Constructing the Scientific Research Programme into the Contingent Nature of Learning Science*. Heidelberg, London, New York: Springer Science & Business Media.

- Taylor, R. S., & Ferrari, M. (2012). *Epistemology and Science Education: Understanding the Evolution vs. Intelligent Design Controversy*. New York: Routledge.
- Van Dyck, M. (2006). *An archaeology of Galileo's science of motion*. Ghent University, Ghent, Belgium.
- Velilla, H. (2015a). El debate sobre la certeza de las matemáticas en la filosofía natural de los siglos XVI y XVII (De quaestio de certitudine mathematicarum). *Saga - revista de Estudiantes de Filosofía*, 16(28), 12–25.
- Velilla, H. (2015b). Las matemáticas de los siglos XVI y XVII en la historiografía científica contemporánea. *Revista Colombiana de Filosofía de La Ciencia*, 15(31), 83–104.
- Vierhaus, R. (2014). Separata Formación (Bildung). *Revista Educación y Pedagogía*, 0(0), 7–23.
- Westaway, F. (1929). *Science Teaching*. Glasgow & London: Blackie.
- Wisn, W. (1974). The new science of motion: A study of Galileo's De motu locali. *Archive for History of Exact Sciences*, 13(2–3), 103–306.
<https://doi.org/10.1007/BF00327483>
- Wisn, W. (1977). Mathematics and Experiment in Galileo's Science of Motion. *Annali dell'Istituto E Museo Di Storia Della Scienza Di Firenze*, 2(2), 149–160.
<https://doi.org/10.1163/221058777X01361>
- Wulf, C. (2001). *Einführung in die Anthropologie der Erziehung*. Beltz.
- Wulf, C. (2004). *Introducción a la antropología de la educación*. Cornellá del Llobregat: Idea Books.
- Wulf, C. (2011). The Happiness of the Family Reflected in Narrative, Image, and Performance. En *Simposio internacional de Narrativas en Educación. Subjetividad y Formación*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Wulf, C., & Zirfas, J. (Eds.). (2014). *Handbuch pädagogische Anthropologie*. Wiesbaden: Springer VS.