

ANEXOS PARA EL FACILITADOR

S1F1

Aprender en la escuela a través de proyectos: ¿por qué?, ¿cómo?

Phillipe Perrenoud

S1F2

La enseñanza por proyectos ¿mito o reto?

Aurora LaCueva

S3F4

Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza

César Mora y Diana Herrera

Anexo S7F5

La teoría cinética antes de Maxwell

J. M. Casado.

[Source et copyright à la fin du texte](#)

In *Revista de Tecnología Educativa* (Santiago - Chile), XIV, n° 3, 2000, pp. 311-321. Version française : Perrenoud, Ph. (1999) [Apprendre à l'école à travers des projets : pourquoi ? comment ?](#), Université de Genève, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation.

APRENDER EN LA ESCUELA A TRAVES
DE PROYECTOS:

¿POR QUÉ?, ¿CÓMO ?

Philippe Perrenoud

Facultad de Psicología y de Ciencias de la Educación
Universidad de Ginebra
2000

Traducción hecha por María Eugenia Nordenflycht

Sommaire

1. [Lograr la movilización de saberes y de procedimientos, construir competencias](#)
2. [Dejar ver prácticas sociales que incrementan el sentido de los saberes y de los aprendizajes escolares](#)
3. [Descubrir nuevos saberes, nuevos mundos, en una perspectiva de sensibilización o de "motivación"](#)
4. [Plantear obstáculos que no pueden ser salvados sino con nuevos aprendizajes, que deben lograrse fuera del proyecto](#)
5. [Provocar nuevos aprendizajes en el marco mismo del proyecto](#)
6. [Permitir identificar adquisiciones y carencias en una perspectiva de auto-evaluación y de evaluación final](#)
7. [Desarrollar la cooperación y la inteligencia colectiva](#)
8. [Ayudar a cada alumno a tomar confianza en sí, a reforzar la identidad personal y colectiva a través de una forma de empowerment, de la toma de poder de actor](#)
9. [Desarrollar la autonomía y la capacidad de hacer elecciones y negociarlas](#)
10. [Formar para la concepción y la conducción de proyectos](#)

[Beneficios secundarios](#)

[Conclusión](#)

[Références](#)

La metodología de proyecto ha sido primero asunto de algunas corrientes de pedagogía activa. El proyecto, como la "escuela del trabajo", el "texto libre", la "correspondencia" o la "clase cooperativa", se inscribían en una *oposición* a una escuela pública autoritaria, centrada en el aprendizaje memorístico y en el ejercicio.

Hoy en día, la escuela pública es un *melting pot* de todo tipo de ideas cada vez menos nuevas, las que en su origen se han desarrollado de manera marginal. En las prácticas, la unión entre pedagogías tradicionales y pedagogías alternativas sigue siendo globalmente una mezcla de aceite y vinagre, un poco menos desequilibrada en la escuela primaria que en el segundo grado. A nivel de las intenciones y de los discursos, por el contrario, es difícil decir hoy día a quién pertenece la "metodología de proyecto". Ciertamente, ésta sigue siendo uno de los temas fuertes de ciertos movimientos pedagógicos, como el Grupo francés de educación nueva, pero cualquiera se siente autorizado a reclamar para sí la metodología de proyecto, sin necesidad de estar afiliado a un movimiento específico.

La amplitud variable de las fases de la metodología de proyecto y el conjunto de las prácticas de enseñanza-aprendizaje en las que ellas se insertan no hace sino aumentar la confusión. En su visión más ambiciosa, la metodología de proyecto es la espina dorsal de una pedagogía del proyecto como *manera común de construcción de los saberes en la clase*. En el otro extremo, es una actividad entre muchas otras, que yuxtapone la resolución de enigmas, las palabras cruzadas o el concurso de cálculo mental en la vasta gama de estrategias que apuntan a hacer menos áridos los aprendizajes y a implicar a los alumnos, ya que el "saber puro" es poco movilizador.

Es entonces difícil ponerse de acuerdo sobre aquello de que se habla. Cada profesor tiene, probablemente, una relación personal con los proyectos, en la vida y en la sala de clases. Algunos, cortados de toda cultura en pedagogía activa, son reducidos al sentido común y al espíritu del tiempo y juegan para sí mismos una visión artesanal del proyecto. Otros, se sienten miembros de un movimiento pedagógico y/o de un equipo en los que la pedagogía y la metodología de proyectos tienen una historia y una significación identificables.

Hablar de *pedagogía del proyecto* como principio general de organización del trabajo corre el peligro de hacer huir de manera bastante rápida a todos aquellos que no adhieren a *una* pedagogía definida, pero hacen lo propio en el abanico de las estrategias propuestas por la tradición, los formadores, los investigadores en didáctica, los movimientos pedagógicos u otras corrientes, como la gestión mental.

Hablar de *estrategias del proyecto* presenta la ventaja de no apartar de golpe a todos aquellos para quienes trabajar por proyectos no constituye una orientación global, sino una manera *entre otras* para poner a trabajar a los alumnos.

Comencemos el análisis en este nivel, sin duda menos exigente y menos coherente, pero que puede comprometer el debate en el círculo que se va agrandando, de aquellos que ya no ven el oficio de alumno como una sucesión de clases magistrales que deben escuchar religiosamente y de ejercicios que deben hacer escrupulosamente.

¿Cuáles son entonces, las razones para elegir una metodología de proyecto? Si las lógicas que presiden la elección de un tipo de actividad o de otra fueran claras y compartidas, dispondríamos de una trama conceptual en la cual podríamos situar la estrategia de proyecto. Desgraciadamente, no disponemos de tal referente como algo adquirido. Procedamos entonces a la inversa y partiendo de una definición provisoria de la metodología de proyecto, tratemos de ver para qué sirve y lo que se puede esperar de ella. Una vez establecido este inventario, será el momento de preguntarse si otras actividades cumplen las mismas funciones o dicho de otro modo, con qué entran en competencia directa las estrategias de proyecto y en qué áreas constituyen el único recurso.

La definición provisoria es tomada de la unidad de integración "*Complejidad y gestión de proyecto*" de la Licenciatura *Enseñanza* y en particular, del marco propuesto a los estudiantes cuando son invitados, en colaboración con un formador de terreno, a conducir una metodología de proyecto durante dos semanas y por aproximadamente la mitad del tiempo de clases.

- Una estrategia de proyecto:
- Es una empresa colectiva dirigida por el grupo curso (el profesor o profesora anima, pero no decide).
- Se orienta a una producción concreta (en el sentido amplio: texto, periódico, espectáculo, exposición, maqueta, mapa, experiencia científica, baile, canción, producción manual, creación artística o artesanal, fiesta, encuesta, salida, manifestación deportiva, rallye, concurso, juego, etc.);
- Induce un conjunto de tareas en las que todos los alumnos pueden implicarse y jugar un rol activo, que puede variar en función de sus medios o intereses;
- Suscita el aprendizaje de saberes y de procedimientos de gestión de proyecto (decidir, planificar, coordinar, etc);
- Favorece, al mismo tiempo, aprendizajes identificables (al menos inmediatamente después) que figuran en el programa de una o más disciplinas (francés, música, educación física, geografía, etc).

La estrategia es voluntariamente definida por sus modalidades antes que por su filosofía, puesto que en formación inicial una parte del trabajo de análisis *ex post* consiste justamente en identificar las razones para comprometerse de manera más o menos regular en tales procedimientos, en la escuela primaria y sobre la base de una experiencia.

Los formadores responsables de esta unidad se han dado cuenta, con el correr de los años, que era probablemente necesario decir algo más para que el análisis no se pierda en una diversidad excesiva de estrategias.

Es por esta razón que ha parecido útil delimitar mejor *lo que puede esperarse de la metodología de proyecto* para incitar a los estudiantes y a sus formadores de terreno a situarse más claramente en este nivel, antes de sumirse en los contenidos y en los aspectos prácticos.

¿Qué se puede esperar de tal metodología? Se ve claramente que ella no está conectada a ninguna disciplina en particular. Una metodología de proyecto en ciencias, para iniciar por ejemplo en la metodología experimental, presenta especificidades. En francés, si se pretende desarrollar la postura de un autor o una actitud metalingüística, es esto lo que impregnará la metodología.

No obstante, no entraremos aquí en lo que particulariza la metodología de proyecto según las áreas de las disciplinas. Limitémonos a bosquejar respuestas *comunes*, sabiendo que su validez no es igual, según se trate de geografía o de educación física. Del mismo modo, admitamos que una metodología de proyecto puede seguir siendo esencialmente interna a una disciplina, que puede concernir a varias o aún más, apuntar a aprendizajes "no disciplinares", del orden de la socialización o de las "competencias transversales".

Sostendremos aquí que una metodología de proyecto, en el marco escolar, puede apuntar a uno o a varios de los siguientes objetivos:

1. Lograr la movilización de saberes o procedimientos, construir competencias.
2. Dejar ver prácticas sociales que incrementan el sentido de los saberes y de los aprendizajes escolares.
3. Descubrir nuevos saberes, nuevos mundos, en una perspectiva de sensibilización o de "motivación".
4. Plantear obstáculos que no pueden ser salvados sino a partir de nuevos aprendizajes, que deben alcanzarse fuera del proyecto.
5. Provocar nuevos aprendizajes en el marco mismo del proyecto.
6. Permitir identificar logros y carencias en una perspectiva de autoevaluación y de evaluación final.
7. Desarrollar la cooperación y la inteligencia colectiva.
8. Ayudar a cada alumno a tomar confianza en sí mismo, a reforzar la identidad personal y colectiva a través de una forma de *empowerment*, de toma de un poder de actor.

9. Desarrollar la autonomía y la capacidad de hacer elecciones y negociarlas.

10. Formar para la concepción y la conducción de proyectos.

A estos objetivos, se agregan beneficios secundarios:

- Implicar a un grupo en una experiencia "auténtica", fuerte y común, para volver a ella de una manera reflexiva y analítica y fijar nuevos saberes;
- Estimular la práctica reflexiva y las interrogantes sobre los saberes y los aprendizajes.

Retomemos estas diez "funciones" explicitando los títulos y dando algunos ejemplos.

1. Lograr la movilización de saberes y de procedimientos, construir competencias

Un proyecto enfrenta "verdaderos" problemas que nos son ejercicios escolares, sino problemas por resolver y obstáculos que el grupo debe salvar para llegar a su fin. Una metodología de proyecto coloca entonces al albañil al pie del muro y lo obliga a medirse ante desafíos que no están organizados para estar exactamente a su medida y no se presentan en las formas del trabajo escolar ordinario.

En un primer momento, es posible ejercer la *transferencia* o la *movilización* de recursos cognitivos trabajados y evaluados hasta entonces de manera separada. El alumno-actor tiene así la ocasión, no sólo de tomar conciencia de lo que sabe y de su capacidad de utilizarlo en situación, sino también de desarrollar esta capacidad.

Nos encontramos aquí, de manera privilegiada, en un contexto de acción necesario para el desarrollo de competencias (Le Boterf, 1994; Perrenoud, 1998), aún cuando la metodología de proyecto no es la única forma de contribuir a ello.

2. Dejar ver prácticas sociales que incrementan el sentido de los saberes y de los aprendizajes escolares

El proyecto es movilizador para los alumnos porque los desafíos les importan. Ahora bien, estos desafíos no son en primer lugar aprender o comprender, sino *tener éxito*, alcanzar una meta, recibir una retroalimentación positiva de un destinatario o tener la satisfacción del trabajo cumplido y del desafío logrado.

La existencia de un verdadero desafío acerca el trabajo escolar a situaciones que se podrían encontrar en la vida: hacer una encuesta, organizar un concurso, una fiesta o una jornada deportiva, montar un espectáculo, escribir una novela, editar

un periódico, hacer una experiencia científica, filmar una película, mantener correspondencia con compañeros lejanos, crear un centro de recursos o proponer el arreglo o el equipamiento de un lugar no son prácticas puramente escolares. Existen en la sociedad y la metodología de proyecto se inspira en ellas.

Aunque nadie se engaña y sabe que va a la escuela para aprender, los alumnos que "se prestan al juego" se comportan como actores sociales comprometidos en prácticas sociales bastantes próximas a la vida.

De esta experiencia se puede esperar una toma de conciencia de la existencia misma de ciertas prácticas sociales y de su condición, comprender por ejemplo que publicar un diario no es mágico, que esto demanda trabajo, cooperación, perseverancia, método y sobre todo, competencias y saberes. Esto permite dar más sentido a las nociones, métodos y conocimientos de los que se aprenden en clase. Su apropiación se ve facilitada porque de objetos escolares ellos se transforman en *herramientas* al servicio de una práctica social identificable.

3. Descubrir nuevos saberes, nuevos mundos, en una perspectiva de sensibilización o de "motivación"

Un proyecto, incluso canónico, lleva a tropezar con obstáculos inesperados y a descubrir nuevas facetas de la cultura. Un grupo que quiere editar la novela que ha escrito va donde un impresor y descubre mundos insospechados: el mundo de las materias (diversos papeles y formatos, cubiertas, empastes), el mundo de las máquinas y de las técnicas (fotocomposición, offset), el mundo de las competencias profesionales, el mundo de las transacciones (presupuesto, costo unitario, precio de venta), el mundo de las reglas jurídicas (responsabilidades de los autores y del impresor, copyright) e indirectamente, el mundo de la edición, de las artes gráficas, de la publicidad, de la prensa, de las librerías.

Estas incursiones en mundos sociales, ya sean directas o indirectas porque son evocadas al filo de las operaciones, forman parte de la construcción de una cultura general y de una educación para la ciudadanía, pues comprender la sociedad es entrar en contacto con sus múltiples rodamientos ¡al menos, tantos como conocer su Constitución!

Todos estos mundos ofrecen entradas a los saberes. Dejan ver prácticas y competencias que movilizan saberes. Ahí tienen curso las palabras, las nociones, los problemas, las reglas que justifican una parte de los aprendizajes escolares, incrementando entonces su sentido.

4. Plantear obstáculos que no pueden ser salvados sino con nuevos aprendizajes, que deben lograrse fuera del proyecto

Un proyecto enfrenta obstáculos que no pueden ser superados de manera individual. Se superan porque uno o dos alumnos saben más que los otros o porque el profesor u otros adultos entregan su ayuda. Esta ayuda forma parte del apoyo de la metodología y no es problemática a menos que convierta en regla. A veces, se renuncia por no poseer saberes y procedimientos y por no saber cómo adquirirlos en el acto y a tiempo.

Cuando no se sabe hacer, se aprende al menos que existen tareas útiles, pertinentes, frente a las cuales se carece de conocimientos o de procedimientos operativos. No siempre es posible (cf.5, más abajo) remediar esta falta en el marco del proyecto, pero al menos se pueden identificar y transformarlos en una necesidad de formación o, por lo menos, en una cierta disponibilidad para aprender aquello que no se posee.

Evidentemente, es importante que estas constataciones no sean vividas como fracasos o marcas de incompetencia, sino como experiencias normales de un sujeto en desarrollo que tropieza con límites, pero que puede desplazarlos.

5. Provocar nuevos aprendizajes en el marco mismo del proyecto

Puede suceder que el aprendizaje requerido para salvar el obstáculo sea posible en el marco mismo del proyecto. A veces, se aprende de manera espontánea, por ensayo y error, quebrándose la cabeza, observando, discutiendo. También se puede suspender la acción e ir a pedir un complemento de información.

En el contexto escolar, es posible e incluso es tentador, tomar como pretexto cada dificultad para improvisar una "pequeña lección". "*Dominio del Francés*" (Besson et al., 1979) proponía construir una estrategia didáctica sobre la articulación de actividades-marco muy próximas a los proyectos y talleres de estructuración que trabajan nociones específicas. Por ejemplo, en la escritura de un relato, se puede tropezar con el problema del pretérito indefinido o del diálogo y operar de cierto modo un despegue para volver a la tarea mejor premunido.

Simplemente importa medir que el abuso de tales despegues hace perder todo su encanto, hasta inclusive todo el sentido del proyecto porque rompe su dinámica y en consecuencia, la implicación de sus actores. Entonces, es preferible aceptar que todas las carencias no sean satisfechas en lo inmediato.

6. Permitir identificar adquisiciones y carencias en una perspectiva de auto-evaluación y de evaluación final

El funcionamiento de los alumnos en un proyecto ofrece una magnífica ocasión para la auto-evaluación espontánea o solicitada. Es legítima, a condición de que esto no se haga pesado o paralizante y que se dé un tiempo para el análisis de las

tareas cumplidas, de los éxitos y fracasos en cada una de ellas y de lo que ellas declaran como adquisiciones. Esta auto-evaluación puede, pero no debe desembocar sistemáticamente en ofertas de formación y todavía menos, en acciones remediales o de apoyo pedagógico. En efecto, una metodología de proyecto puede poner en evidencia lagunas totalmente legítimas, que no apelan a ninguna intervención urgente por parte del profesor. La autoevaluación alimenta una forma de lucidez que puede guiar nuevos aprendizajes, pero también y muy simplemente, permitir que cada uno identifique sus puntos fuertes y sus puntos débiles y elegir sus inversiones y su rol en consecuencia con ello.

El profesor puede también utilizar los proyectos para conocer y para comprender mejor a sus alumnos y también para identificar mejor sus logros y sus dificultades, puesto que él los ve en la práctica, en sus múltiples y complejas tareas. Es una herramienta mayor de observación formativa.

7. Desarrollar la cooperación y la inteligencia colectiva

Un proyecto obliga a cooperar y en consecuencia, a desarrollar las correspondientes competencias: saber escuchar, formular propuestas, negociar compromisos, tomar decisiones y cumplirlas. También obliga a ofrecer o pedir ayuda, a compartir sus preocupaciones o sus saberes; a saber distribuir las tareas y a coordinarlas; a saber evaluar en común la organización y el avance del trabajo; manejar en conjunto tensiones, problemas de equidad o de reconocimiento, fracasos. A esto se agrega un trabajo sobre las competencias de comunicación escrita (planes, memos, correspondencia, pasos a seguir) y oral (argumentación, animación, compartir saberes, etc.), como herramientas funcionales de la cooperación.

Más allá de las competencias, los alumnos toman conciencia de la importancia de una inteligencia colectiva o distribuida, de la capacidad de un grupo; si funciona bien, les permite además fijarse metas que ningún individuo puede esperar alcanzar por sí solo.

En una sociedad donde la cooperación y el trabajo en red se convierten en regla al interior de las organizaciones, en particular en torno a los proyectos, este solo objetivo podría justificar un entrenamiento intensivo en el marco escolar.

8. Ayudar a cada alumno a tomar confianza en sí, a reforzar la identidad personal y colectiva a través de una forma de *empowerment*, de la toma de poder de actor

En un proyecto, a título individual o como miembro de un grupo, cada uno es actor y medida, la que ha tomado en el mundo y de los demás, tiene un cierto

poder y este poder es función de su trabajo, de su determinación, de su convicción, de su competencia.

Es una fuente mayor de confianza en sí y de identidad, que son a su vez ingredientes preciosos con relación al saber, al deseo de aprender y al sentimiento de ser capaz.

Se dice con fuerza que la escuela debe desarrollar la ciudadanía, la identidad, la solidaridad, la autoestima, el espíritu crítico. Menos a menudo nos preguntamos en qué marco deben situarse estos aprendizajes. Las metodologías de proyectos crean dinámicas de cooperación, exigen una fuerte implicación y chocan con verdaderos obstáculos. Es por ello que se enfrentan con los demás y con lo real "en gran magnitud", lo que ayuda a cada cual a construirse como persona, a unirse a los otros y también, a diferenciarse de ellos.

Los trabajos sobre el *empowerment* (Hargreaves and Hopkins, 1991) muestran hasta qué punto los individuos, en las organizaciones, tienen dificultad para considerarse actores mientras se les trata como agentes. Esta identidad de actor viene de lejos y si la escuela no la construye, continúa siendo totalmente dependiente de la educación familiar y en consecuencia, muy desigual. Los que no tienen la suerte de construir en este marco una fuerte identidad personal abordan el mundo del trabajo de manera muy carente.

9. Desarrollar la autonomía y la capacidad de hacer elecciones y negociarlas

En un proyecto, cada uno corre el peligro de ser arrastrado por opciones colectivas que no comprende o no comparte, por no haber sabido defenderse y no hacer prevalecer al menos algunas de sus ideas. Una metodología de proyecto favorece entonces un doble aprendizaje:

- por una parte, el aprendizaje de la autonomía con respecto al grupo que permite al individuo manejarse con prudencia en zonas en las cuales sigue siendo amo de su acción o por lo menos de una parte de las modalidades e inclusive de las finalidades.; para esto, es preciso saber reconocer su competencia y hacerse delegar tareas sin que éstas sean prescritas en detalle;
- por otra parte, el aprendizaje de los modos concretos de hacerse oír en un grupo y de influir en las decisiones colectivas, de manera de poder reconocerse en ellas.

Estas dos competencias son estrechamente complementarias. El individuo salvaguarda su autonomía, protegiendo una esfera de actividad en la que él es "dueño de sí", como asimismo, inclinando las orientaciones del grupo y las reglas

del juego en el sentido de sus propias preferencias (Vassilef, 1997; Perrenoud, 1999).

10. Formar para la concepción y la conducción de proyectos

En una "sociedad de proyecto" (Boutinet, 1993, 1995; Courtois et Josso, 1997), una buena parte de los profesionales se encuentran, de manera más o menos frecuente, comprometidos en proyectos de desarrollo, de reestructuración, de innovación. En la vida fuera del trabajo, sucede lo mismo en el campo asociativo, político, sindical, deportivo, cultural.

Aprender a manejar proyectos o a colaborar en ellos, de manera a la vez crítica y constructiva, es entonces en sí un aprendizaje importante cuando esta forma de acción colectiva se hace común. Ahora bien, si no es inútil disponer de algunos consejos metodológicos, lo esencial de este aprendizaje sigue siendo experiencial. Se aprende haciendo. Los proyectos que funcionan cuentan en general con el recurso de algunas personas que han desarrollado prácticas de animación y de mediación sin las cuales las divergencias corren el peligro de hacer estallar a cualquier grupo enfrentado a desafíos. En la clase, es el profesor quien juega este rol, pero puede dar a algunos alumnos la posibilidad de asumir ciertos aspectos y dar a otros, al menos, la oportunidad de ver funcionar prácticas de facilitación. El consejo de curso, instancia de regulación más permanente, crea los mismos efectos de formación.

Tales aprendizajes no están desvinculados de las disciplinas y en particular de la historia y de los idiomas, puesto que una parte importante de las transformaciones políticas y sociales pasan por movimientos sociales orientados por proyectos. En cuanto a las estrategias de argumentación, a las capacidades de reformulación y de ajuste de divergencias, a los puntos de acuerdo y al trabajo por hacer, podemos decir que ellas constituyen lo central del manejo de proyectos. No se trata sólo de habilidades, sino de saberes sobre las instituciones, el poder, la decisión, los dispositivos de trabajo eficaz.

Beneficios secundarios

En un curso, una metodología de proyecto no es nunca una metodología anodina si el profesor acepta y favorece la entrega del proyecto, dicho de otro modo, si limita su propio poder y se lo deja a sus alumnos.

Algunos profesores comienzan el año escolar con un proyecto: ellos han comprendido que es la mejor forma de crear un vínculo social, de afianzar a un grupo y también de dar a los alumnos menos favorecidos la posibilidad de presentarse como actores, a veces divertidos, eficaces, conciliadores antes que aparezcan, de buenas a primeras, como poco escolares o portadores de carencias.

Esta experiencia no sólo es favorable para una dinámica del curso, crea una cultura compartida de la acción, a la cual pueden referirse durante todo el año escolar para dar sentido a ciertos saberes. En efecto, en el trabajo escolar importa no sólo responder de manera convincente a la

pregunta *¿para qué sirve esto?*, sino suscitarla y conectar la respuesta a problemas concretos. Las metodologías de proyecto no giran en torno a prácticas sociales, pero permiten acceder a algunas de ellas de manera más concluyente que por medio de una evocación abstracta.

Por ejemplo, una experiencia de proyecto permite tomar conciencia del hecho que toda decisión se funda en saberes tanto teóricos como procedimentales y que los que ejercen una cierta influencia no son quienes gritan más fuerte, sino los que analizan las posibilidades, los medios y contribuyen a concebir estrategias realistas.

Conclusión

Evidentemente, no es necesario que cada metodología de proyecto contribuya a aprendizajes decisivos en cada uno de estos diez registros. Sería preferible apuntar específicamente a uno o dos de ellos y tomar los otros, si se producen, como acertados beneficios secundarios.

Este referente no tiene entonces ninguna intención de normalizar los proyectos, mucho menos agobiarlos con tareas de formación de una ambición desmesurada. Simplemente, propone puntos de referencia para responder a dos preguntas complementarias.

- ¿en el momento en que el proyecto se esboza: qué competencias y conocimientos se supone que desarrolla prioritariamente? Una cierta claridad con respecto de esto puede prevenir desvíos o una dispersión demasiado grande.
- ¿en el transcurso del proyecto mismo, como herramienta de regulación, y eventualmente de una gran reorientación, si los objetivos que se pretende alcanzar entran en una fuerte contradicción con la dinámica, en el momento en que el proyecto se acaba: qué competencias y conocimientos ha contribuido a desarrollar en todos o parte de los alumnos?

Debemos notar que las adquisiciones evocadas no se encuentran en ninguna disciplina. Algunas son claramente competencias transversales, otras aparecen como más próximas a un área disciplinar.

Tampoco hay nada exclusivo en cuanto al tipo de adquisiciones: conocimientos, competencias, pero también actitudes, valores, posturas, relaciones con el saber o con la acción, necesidades, nuevos proyectos, imagen de sí mismo, representación del mundo y de la acción individual y colectiva.

En síntesis, la metodología de proyecto puede perseguir objetivos muy diversos y no es cuestión de jerarquizarlos. Por el contrario, lo que importa es aclararlos para no sucumbir ante una forma de "romanticismo del proyecto" que le prestaría virtudes sin someterlas al análisis.

Références

- Besson, M.-J. et al. (1979) *Maîtrise du français*, Vevey, Delta.
- Boutinet, J.-P. (1993). *Anthropologie du projet*, Paris, PUF, 2e éd.
- Boutinet, J.- P. (1993) *Psychologie des conduites à projet*, Paris, PUF, QSJ
- Boutinet, J.-P. (1993) *Le projet, mode ou nécessité?*.Paris. L'Harmattan.
- Courtois, B. et Josso,Ch.(dir.) *Le projet: nébuleuse ou galaxie?*. Neuchâtel et Paris, Delachaux et Niestlé.
- Hargreaves, D.H et Hopkins,D. (1991) *The Empowered School: The Management and Practice of School Development*, London, Cassell.
- Le Boterf, G. (1994) *De la compétence. Essai sur un attracteur étrange*, Paris, Les Editions d'organisation.
- Perrenoud, Ph. (1997) *Construire des compétences dès l'école*, Paris, ESF (2e éd.1998)
- Perrenoud, Ph. (1998) *Réussir ou comprendre? Les dilemmes classiques d'une démarche de projet*, Genève, Faculté de Psychologie et des sciences de l'éducation.
- Perrenoud,Ph. (1999) *La clé des champs: essai sur les compétences d'un acteur autonome. Ou comment ne pas être abusé, aliéné, dominé ou exploité lorsqu'on n'est ni riche, ni puissant*, Université de Genève, Faculté de Psychologie et des sciences de l'éducation.
- Rey, B. (1996) *Les compétences transversales en question*, Paris, ESF.

Sommaire

Source originale :

http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_2000/2000_26.html

Téléchargement d'une version Word au format RTF:

http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_2000/2000_26.rtf

© Philippe Perrenoud, Université de Genève.

Aucune reprise de ce document sur un site WEB ou dans une publication imprimée ne peut se faire sans l'accord écrit de l'auteur et d'un éventuel éditeur. Toute reprise doit mentionner la source originale et conserver l'intégralité du texte, notamment les références bibliographiques.

Début

Capítulo 2

La conducción de la enseñanza mediante proyectos situados

El conocimiento es un fenómeno social, no una cosa.

David Jonassen

FOTO 4

2.1 Orígenes y supuestos educativos del enfoque de proyectos

La sociedad contemporánea enfrenta a sus actores al desafío de participar a lo largo de su vida en proyectos de desarrollo, de reestructuración o de innovación no sólo en las esferas directamente vinculadas con su formación académica o su profesión, sino también fuera del trabajo y la escuela, en el campo de la cultura, la política o el deporte. En las instituciones educativas se plantea actualmente asimismo la necesidad de enseñar a los alumnos por lo menos desde el nivel medio a planear su “proyecto de vida y carrera”, y aún antes, en la educación primaria, a colaborar en la realización de proyectos escolares, personales y comunitarios. El discurso en torno a la era de la sociedad del conocimiento y la globalización de la cultura y la economía también argumenta en favor de que la escuela asuma el compromiso de formar actores sociales poseedores de competencias sociofuncionales, de carácter holista, que van mucho más allá de la posesión de conocimientos declarativos e inertes.

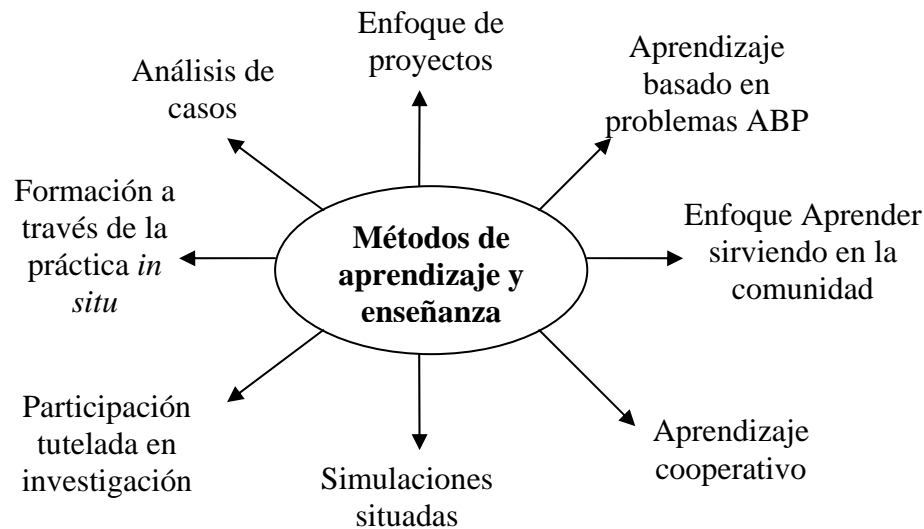
En consecuencia, los modelos educativos se reorientan a la recuperación y resignificación de las metodologías que permitan generar dinámicas de cooperación y que enfrentan a los estudiantes con la realidad que les circunda de una manera crítica y constructiva. Algunos autores consideran que aprender a manejar proyectos y a colaborar en ellos, entendiéndolos como una forma idónea de acción colectiva, es uno de los aprendizajes más significativos que puede lograr una persona, pues incide tanto en su facultamiento o construcción de una identidad personal sólida como en su preparación para el trabajo colectivo y la ciudadanía.

El aprendizaje por medio de proyectos es un aprendizaje eminentemente experiencial, pues se aprende al hacer y al reflexionar sobre lo que se hace en contextos de prácticas situadas y auténticas. Diversos autores consideran el enfoque o método de proyectos uno de los más representativos de las perspectivas experiencial y situada (véase Centre for Higher Education Development, 2002; Díaz Barriga, 2003b; Jonassen, 2000; Kolodner y Guzdial, 2000; McKeachie, 1999). En la Figura 2.1 se ilustran algunos de los métodos o enfoques estratégicos propios de una enseñanza experiencial y situada considerados como los más importantes y representativos, de acuerdo con estos autores; en su momento, se comentarán sus interrelaciones.

En este capítulo revisaremos el enfoque de proyectos en la enseñanza y el aprendizaje, con base en la teorización y los referentes de las perspectivas experiencial y situada. La intención es ofrecer al lector tanto una caracterización de este enfoque como algunas prescripciones metodológicas para su aplicación en el aula. Puesto que en la

perspectiva que aquí adoptamos cobran especial importancia la posibilidad de desarrollar la reflexión y el trabajo cooperativo mediante el trabajo con proyectos, estos puntos recibirán una atención especial durante el desarrollo del capítulo.

Figura 2.1. Perspectivas experiencial y situada



Las perspectivas experiencial y situada plantean el problema de la organización y secuencia de los contenidos de la enseñanza o de la estructura del currículo en términos de los saberes, habilidades o competencias que la persona debe lograr para afrontar los problemas, necesidades y asuntos relevantes que se le plantean en los entornos académicos y sociales donde se desenvuelve. De esta manera, las experiencias educativas en las que participan los alumnos en forma de actividades propositivas y auténticas (en el sentido del capítulo anterior), organizadas por lo común en forma de *proyectos*, constituyen los elementos organizadores del currículo (Posner, 2004). Según Dewey (1938/2000), el currículo debe ofrecer al alumno *situaciones* que lo conduzcan a un crecimiento continuo, gracias a la interacción entre las condiciones objetivas o sociales e internas o personales, es decir, entre el entorno físico y social con las necesidades, intereses, experiencias y conocimientos previos del alumno. Tales situaciones no pueden prefijarse del todo ni planearse de manera rígida ni unidireccional; por el contrario, tienen que responder a una planeación cooperativa y negociada entre los actores (sobre todo los profesores y los alumnos, pero también pueden intervenir otros participantes).

Lo anterior implica que el punto focal del diseño del currículo y la instrucción no descansa en el aprendizaje de información factual o de conceptos disciplinarios básicos, ni en la adquisición y ejercicio de habilidades discretas, en la medida en que estos aprendizajes no cobren sentido para el alumno ni relevancia para su formación y desenvolvimiento ulterior. Así, el foco de una enseñanza centrada en proyectos situados se ubica en el “mundo real”, no en los contenidos de las asignaturas tradicionales *per se*. Si

bien se destaca la dimensión social del conocimiento y se realizan actividades propositivas y de relevancia para la comunidad, al mismo tiempo se apela a un abordaje sistemático de solución de problemas, fundamentado de manera amplia en el conocimiento y métodos científicos.

Ya en el capítulo anterior se planteó, desde las perspectivas experiencial y reflexiva, la existencia de ciclos de desarrollo del conocimiento en espiral, donde ocurren procesos de *pensamiento-acción-reflexión* que dan cuenta de la manera como las personas generan representaciones y pautas para actuar en un intento por resolver algún problema, llevan a la práctica sus ideas y después reflexionan sobre los efectos de sus acciones. Dicha reflexión les permite a la larga arribar a la generación de nuevos conocimientos y actitudes, a la reconstrucción de su pensamiento y su práctica. Pero además de las dimensiones social y científica del conocimiento, también es importante las dimensiones referidas al autoconocimiento y la construcción de la identidad, el cambio de actitudes, del crecimiento personal o del facultamiento en general que los estudiantes experimentan conforme progresan en actividades significativas.

Aunque sería un error pensar que es sólo dentro del movimiento de la educación progresiva estadounidense donde aparece por primera vez el método de proyectos en la enseñanza,¹ es en torno a la visión deweyniana donde se reconocen las dos tendencias que a la fecha dan sentido al mismo: *a)* la enseñanza centrada en el facultamiento del alumno, en el desarrollo de su independencia y responsabilidad, y *b)* la formación orientada a mejorar la vida en sociedad en virtud de una práctica social y formas de comportamiento democráticas.

En el Cuadro 2.1 se ofrece una síntesis de los supuestos en que descansa el enfoque centrado en proyectos desarrollado en torno a las ideas de Dewey y Kilpatrick así como de otros seguidores, de acuerdo con Posner (2004, p. 183).

¹ De acuerdo con Knoll (1997), la aparición del método de proyectos se sitúa históricamente en el movimiento de la educación vocacional en el campo de la arquitectura y el arte que comienza en Italia en el siglo XVI y se extiende a otros países de Europa Central hasta entrado el siglo XVIII. En sus orígenes, se encaminaba a la profesionalización de una ocupación, con el propósito de que los alumnos aprendieran a trabajar de forma independiente combinando teoría y práctica mediante una actividad constructiva. Su redefinición y diseminación más amplia ocurren en el siglo XX, en el contexto de movimientos educativos contemporáneos vinculados a la pedagogía activa europea y la educación progresista deweyniana, en consonancia con el currículo abierto, la educación comunitaria, la clase cooperativa, el aprendizaje basado en la práctica o la escuela del trabajo (Perrenoud, 2000a). En contraste, Howell (2004) ubica la historia documentada del método de proyectos en 1830, en Moscú, Rusia, en una escuela comercial e industrial donde se capacitaban ingenieros y artesanos. No obstante, los tres autores coinciden en que Dewey y Kilpatrick son el referente principal del empleo actual de este método en la educación. Knoll y Perrenoud coinciden en que a finales de los años sesenta del siglo XX el método de proyectos renace como una alternativa a los formatos convencionales de seminario y cátedra, al mismo tiempo que como una protesta en contra del autoritarismo, el aprendizaje memorístico y la falta de utilidad práctica de lo que se enseña en las aulas. Knoll opina que desde los años ochenta los esfuerzos se dirigen a armonizar el trabajo mediante proyectos con otros métodos de enseñanza, incluso algunos más convencionales, pero a Perrenoud tal posibilidad le parece “una mezcla de aceite y vinagre, un poco menos desequilibrada en la primaria que en la escuela secundaria” (*op. cit.*, p. 2).

Cuadro 2.1. Supuestos del enfoque centrado en proyectos (Posner, 2004).

Epistemológico	El método científico ofrece un modelo de la forma en que pensamos, y por consiguiente debe emplearse para estructurar las experiencias educativas. Este método consiste en ciclos recurrentes de pensamiento-acción-reflexión. El conocimiento más valioso es el social. Un enfoque de aprendizaje experiencial, interdisciplinario, centrado en proyectos, permite a los estudiantes conseguir las habilidades, actitudes y conocimientos necesarios para participar en una sociedad democrática.
Psicológico	La educación escolarizada debe educar a la persona en su totalidad. Las personas aprenden haciendo; adquieren nuevas habilidades y actitudes al ponerlas a prueba en actividades que ellos mismos dirigen, y encuentran importantes y significativas.
Propósito educativo	La educación debe ayudar a los estudiantes a reconstruir o reorganizar su experiencia, de manera que contribuyan a la experiencia social en sentido amplio. Las metas centrales son el desarrollo y crecimiento del alumno, más que la enseñanza de hechos, de la estructura de las disciplinas o de las habilidades intelectuales, a excepción de que sean necesarias para los proyectos de los estudiantes.
Currículo	Debe existir congruencia entre el currículo, los intereses de los estudiantes y sus necesidades de desarrollo. El contenido debe ser interdisciplinario, basado en material “relevante”, y proporcionar a los estudiantes oportunidades para aplicar nuevos aprendizajes en actividades del “mundo real”.
Desarrollo del currículo	De manera cooperativa, los estudiantes y los profesores deben desarrollar un currículo que pertinente respecto de los intereses y necesidades de los alumnos. No es preciso que participen “expertos”.

El enfoque de proyectos asume una perspectiva situada en la medida en que su fin es acercar a los estudiantes al comportamiento propio de los científicos sociales destacando el proceso mediante el cual adquieren poco a poco las competencias propias de éstos, por supuesto en sintonía con el nivel educativo y las posibilidades de alcance de la experiencia educativa. En la conducción de un proyecto, los alumnos contribuyen de manera productiva y colaborativa en la construcción conjunta del conocimiento, en la búsqueda de una solución o de un abordaje innovador ante una situación relevante.

El referente obligado en la explicación de la conducción de la enseñanza mediante proyectos es aún el trabajo de William H. Kilpatrick, discípulo directo de John Dewey, quien se dio a la tarea de configurar el método de proyectos dentro de la perspectiva de la educación progresista centrada en el niño. En su definición de lo que significa el término "proyecto", Kilpatrick (1918) lo relaciona con otros términos, como “acto propositivo” que ocurre en un entorno social determinado. La calificación de "propositivo" es muy importante para el autor, pues presupone una libertad de acción por parte del alumno, y por consiguiente establece como rasgo crucial el componente motivacional. Kilpatrick consideraba que por medio de un proyecto o actividad propositiva que entusiasma e involucra a la persona que aprende es posible articular una enseñanza acorde a las leyes del

aprendizaje, las cualidades éticas de la conducta, las actitudes individuales del alumno y la situación social en que vive.

De esta manera, la unidad típica de la instrucción debiese ser el acto propositivo plasmado en la forma de un proyecto. Así visto, el proyecto se refiere a “cualquier tipo o variedad de experiencia de vida que se hace por un propósito dominante” (Kilpatrick, 1921, p. 283). Para este autor, a diferencia de otros que hablan de la enseñanza mediante proyectos pero los restringen al valor del aprendizaje disciplinario que propician, el tipo de proyectos o actos propositivos que vale la pena considerar en la enseñanza deben ser proyectos apropiados o valiosos con trascendencia no sólo en la adquisición de saberes específicos, sino para la vida en una sociedad democrática. Kilpatrick (1921) identificaba cuatro tipos de proyectos:

1. Las experiencias en que el propósito dominante es hacer o efectuar algo, dar cuerpo a una idea o aspiración en una forma material (p. ej., un discurso, un poema, una sinfonía, una escultura, etcétera).
2. El proyecto consiste en la apropiación propositiva y placentera de una experiencia (p. ej., ver y disfrutar una obra de Shakespeare).
3. El propósito dominante en la experiencia es resolver un problema, desentrañar un acertijo o una dificultad intelectual.
4. Experiencias muy variadas en las que el propósito es adquirir un determinado grado de conocimiento o habilidad al cual la persona que aprende aspira en un punto específico de su educación.

Estas cuatro categorías no son excluyentes, y la diferencia reside en todo caso en el propósito o actitud que el alumno asume ante la tarea. Lo que queda claro es que un proyecto no es un tópico o un tema del programa de una asignatura, aunque por supuesto el proyecto surge y se conecta con los tópicos del currículo escolar.

Al igual que para Dewey, para Kilpatrick lo valioso de un proyecto es la posibilidad de preparar al alumno no sólo en torno a la experiencia concreta en que éste se circunscribe, sino en la posibilidad de tener una amplia aplicación en situaciones futuras. Por otra parte, para ambos autores el tema de la educación moral está presente en la enseñanza experiencial mediante proyectos, pues se plantea la posibilidad de la construcción del carácter moral de las personas en este “régimen de actividades propositivas” que se realizan de manera colaborativa, en contraposición a la enseñanza tradicional que confina al alumno a trabajar en su pupitre de manera solitaria y donde se desarrollan el individualismo egoísta y la competencia destructiva entre compañeros. Así, la realización de un proyecto, desde esta perspectiva, va siempre de la mano de la promoción de relaciones sociales compartidas, cuyo propósito es el desarrollo del carácter moral y de la disposición actitudinal y comportamental que toman como referente principal el bien común.

La enseñanza mediante proyectos así planteada implica ir más allá del ejercicio de una técnica docente; requiere un cambio de actitud y de forma de trabajo en los actores de la educación, no sólo de profesores y alumnos, sino directamente de padres y directivos. Implica un cambio en nuestra representación del qué y el cómo de la educación, y sobre todo, como veremos más adelante, en la capacidad de trabajar colaborativamente en un esquema de interdependencia positiva. Por último, no todo proyecto tiene el mismo

potencial educativo, y aquí es donde aparece la responsabilidad del docente como mediador en la construcción de la situación educativa en un sentido amplio.

2.2 Concepción actual de la estrategia de proyectos y competencias que promueve

Según Knoll (1997), el concepto “proyecto” surgido en la arquitectura, la ingeniería y las artes, pertenece a la misma categoría del “experimento” de las ciencias naturales o del “estudio de caso” del jurista. En buena medida, todas estas estrategias de enseñanza comparten las cuatro fases que ya identificaba Kilpatrick (1918; 1921) como básicas de todo proyecto: establecimiento del propósito, planeación, ejecución y juicio.

De esta manera, en relación con el significado del término, *proyecto* implica una representación que anticipa una intención de actuar o hacer alguna cosa, la elaboración de una perspectiva lo más amplia posible sobre el asunto de nuestro interés, así como la previsión prospectiva de las acciones necesarias para intervenir en la dirección pensada. Un buen proyecto tiene que referir a un conjunto de actividades concretas, interrelacionadas y coordinadas entre sí, que se realizan con el fin de resolver un problema, producir algo o satisfacer alguna necesidad. Hay que enfatizar que la realización de un proyecto lleva implícita una visión sistémica, multidimensional o ecológica de un problema o situación determinados, y esto se traduce en importantes aprendizajes para el alumno.

No obstante, como bien reconoce Perrenoud (2000a), ante la diversidad de discursos pedagógicos actuales, existen múltiples interpretaciones de cómo llevar al aula la metodología de proyectos así como del conjunto de prácticas de enseñanza-aprendizaje que se insertan en la misma. El autor considera que en su versión más ambiciosa, de la cual es ejemplo la perspectiva de la educación progresista ya revisada, el proyecto es la espina dorsal del currículo y la enseñanza, la manera común de construcción de saberes en el aula. Pero en el otro extremo, es una actividad entre muchas más, a las cuales se yuxtapone con el propósito de hacer menos áridos los aprendizajes y de motivar a los alumnos.

Es por ello que puede haber profesores muy comprometidos, en la vida y en el aula, con la pedagogía activa o con la psicología constructivista, mientras que otros pueden tan sólo simpatizar con ellas desde el sentido común o debido al espíritu de los tiempos que impone determinadas modas educativas. Es decir, habrá profesores que adopten la metodología de proyectos como una orientación global en su enseñanza, mientras que para otros será una manera entre otras de trabajar. Esto marcará la significación que le otorgue el docente e incluso la institución educativa misma, así como el tipo e intensidad de las prácticas educativas centradas en ésta o en otras opciones de la enseñanza. En todo caso, tanto el docente frente a grupo así como el colectivo o claustro de docentes debe tomar postura y decidir la perspectiva y espacios curriculares en donde es apropiado el trabajo mediante proyectos, y trabajar colaborativamente con los alumnos en su delimitación precisa.

Con la intención de Perrenoud (2000a) de “bosquejar respuestas comunes” en torno a la metodología de proyectos, las cuales tendrán que situarse convenientemente en contextos particulares, adaptamos de este autor la definición de lo que denomina *estrategia de proyectos*:

- Es una estrategia dirigida por el grupo-clase (el profesor anima y media la experiencia, pero no lo decide todo: el alumno participa activa y propositivamente).
- Se orienta a una producción concreta (en el sentido amplio: experiencia científica, texto, exposición, creación artística o artesanal, encuesta, periódico, espectáculo, producción manual, manifestación deportiva, etcétera).
- Induce un conjunto de tareas en las que todos los alumnos pueden participar y desempeñar un rol activo, que varía en función de sus propósitos, y de las facilidades y restricciones del medio.
- Suscita el aprendizaje de saberes y de procedimientos de gestión del proyecto (decidir, planificar, coordinar, etc.), así como de las habilidades necesarias para la cooperación.
- Promueve explícitamente aprendizajes identificables en el currículo escolar que figuran en el programa de una o más disciplinas, o que son de carácter global o transversales.

Como complemento a la concepción anterior encontramos la definición de Selma Wassermann (1994, p. 160) del trabajo escolar mediante proyectos: “el trabajo en proyectos incluye tareas formales asignadas a individuos o grupos pequeños de alumnos vinculadas con un área de estudio determinada. Los proyectos abarcan estudios que pueden requerir que los estudiantes investiguen, creen y analicen información que coincida con los objetivos específicos de las tareas”. A diferencia de los otros autores revisados, esta autora contempla los proyectos de carácter individual, no sólo los colectivos, así como los proyectos vinculados con tópicos curriculares muy específicos, aunque también considera que los aprendizajes deben incluir competencias amplias, sobre todo respecto del pensamiento complejo, creativo y crítico. Por eso, esta autora clasifica los proyectos en lo que denomina *actividades generativas*, es decir, las que requieren que los estudiantes apliquen lo que aprendieron en formas creativas y novedosas, así como en la solución de problemas significativos.

En el Cuadro 2.2 se sintetizan los beneficios previstos así como los objetivos que persigue el enfoque de enseñanza mediante proyectos, contemplando su aplicación tanto en contextos escolares como cotidianos.

Cuadro 2.2. La estrategia de proyectos según Perrenoud (2000a).

Beneficios: <ul style="list-style-type: none">• Implicar a un grupo en una experiencia “auténtica”, fuerte y común, para volver a ella de una manera reflexiva y analítica, y lograr nuevos saberes.• Estimular la práctica reflexiva y las interrogantes sobre los saberes y los aprendizajes.
Objetivos: <ol style="list-style-type: none">1. Lograr la movilización de saberes y de procedimientos, construir competencias.2. Dejar ver prácticas sociales que incrementan el sentido de los saberes y de los aprendizajes escolares.3. Descubrir nuevos saberes, nuevos mundos, en una perspectiva de sensibilización o de “motivación”.4. Plantear obstáculos que no pueden salvarse sino a partir de nuevos aprendizajes, que deben alcanzarse fuera del proyecto.

5. Provocar nuevos aprendizajes en el marco del mismo proyecto.
6. Permitir la identificación de logros y carencias en una perspectiva de autoevaluación y de evaluación final.
7. Desarrollar la cooperación y la inteligencia colectiva.
8. Ayudar a cada alumno a confiar en sí mismo, a reforzar la identidad personal y colectiva a través de una forma de facultamiento o empoderamiento.
9. Desarrollar la autonomía y la capacidad de hacer elecciones y negociarlas.
10. Formar para la concepción y la conducción de proyectos.

Algunos comentarios adicionales sobre la perspectiva de Perrenoud: un proyecto enfrenta problemas auténticos, que no son ejercicios escolares rutinarios sino verdaderos problemas por resolver, y conduce a la adquisición de *competencias*. Para Perrenoud (2000b, p. 1), “una competencia es la facultad de movilizar un conjunto de recursos cognitivos (saberes, capacidades, informaciones, etc.) para solucionar con pertinencia y eficacia una serie de situaciones”. Las competencias pueden estar ligadas a contextos culturales, escolares, profesionales, o a condiciones sociales particulares. Las personas desarrollan competencias adaptadas a su mundo, pues no todos los seres humanos viven las mismas situaciones. Sin embargo, en la escuela no se trabaja lo suficiente en la transferencia ni en la movilización de los saberes, no se da importancia a esta práctica y los alumnos acumulan información, aprueban exámenes, pero no consiguen trasladar lo que aprendieron a situaciones reales y complejas. La descripción de una competencia debe partir de un análisis de las situaciones y de ahí derivar los conocimientos. El vínculo entre las competencias así entendidas y el método de proyectos se establece con claridad en la siguiente cita (Perrenoud, 2000b, p. 4):

Para desarrollar competencias es preciso, antes que nada, trabajar por problemas o por proyectos, proponer tareas complejas y desafíos que inciten a los alumnos a movilizar sus conocimientos, y, en cierta medida, a completarlos. Eso presupone una pedagogía activa, cooperativa, abierta para la ciudad o el barrio, sea una zona urbana o rural [...] Enseñar hoy debería consistir en concebir, encajar y regular situaciones de aprendizaje según los principios activos constructivistas.

En el caso concreto de la enseñanza y el aprendizaje en torno a proyectos, el autor plantea que son varias las competencias que desarrolla el alumno:

- *Competencias para la definición y afrontamiento de problemas “verdaderos”*, para la transferencia o movilización de los saberes que se poseen así como para la toma de conciencia de lo que se sabe, y de la capacidad de utilizar y generar nuevos saberes.
- *Competencias para la cooperación y el trabajo en red*: saber escuchar, formular propuestas, negociar compromisos, tomar decisiones y cumplirlas; también enseña a ofrecer o pedir ayuda, a compartir saberes y preocupaciones, a saber distribuir tareas y coordinarlas, a saber evaluar en común la organización y avance del grupo, a manejar en conjunto éxitos, fracasos, tensiones.
- *Competencias para la comunicación escrita* (planes, protocolos de proyecto, memos, correspondencia, bocetos, pasos a seguir, informes, etc.) y *oral* (exposición oral, argumentación, animación, compartición y negociación de saberes.).

- *Competencias para la autoevaluación* espontánea o solicitada, para el análisis reflexivo de las tareas cumplidas, de los logros y las limitaciones personales y del grupo, para la elección de ayudas remediales o de apoyos psicopedagógicos, para el establecimiento de nuevos planes de aprendizaje.

Uno de los efectos más benéficos del trabajo mediante proyectos, al igual que cuando se trabaja con otros enfoques experienciales, como la solución de casos y problemas, con oportunidad para la expresión creativa y original de las ideas de los alumnos, estriba en sus efectos en la motivación por el aprendizaje. Woolfolk (1996) plantea que los profesores pueden fomentar de manera efectiva la motivación y el aprendizaje autorregulado al incrementar el grado de participación y autonomía de los alumnos en las tareas académicas, es decir, al solicitarles abiertamente iniciativas que les permitan expresar sus intereses y talentos.

En otro orden de ideas, también se plantean dos modelos básicos de instrucción mediante proyectos (Knoll, 1997). En el primero y más antiguo, los alumnos tienen que aprender en un inicio y por separado los conocimientos y habilidades que después deberán aplicar de manera creativa e independiente en el proyecto en sí. Esto implica un diseño de la instrucción en el cual el alumno tiene que pasar primero por una serie de ejercicios básicos donde aprende el “alfabeto de las técnicas y las herramientas” y después, al final de una determinada unidad o ciclo escolar, procede a desarrollar proyectos independientes. Incluso, en algunos casos, la aplicación ocurre varios ciclos o años escolares después; por ejemplo, cuando se pide al alumno que, con base en lo que aprendió en determinadas asignaturas centradas en contenidos disciplinares o en metodología de investigación y estadística, desarrolle su “proyecto de graduación”. La lógica implícita aquí es que los conocimientos y técnicas que se aprendieron de manera aislada se aplicarán después en un contexto, aunque esta racionalidad ha sido puesta en tela de juicio, tanto como la posibilidad de transferir y aplicar de esta manera los aprendizajes así logrados (véase la argumentación que ofrece Donald Schön, en el capítulo anterior).

En el segundo modelo, más reciente y acorde a los principios de la perspectiva situada que hemos revisado, el proyecto no queda confinado al final de la unidad o ciclo de enseñanza, sino que constituye el centro de la misma, una “totalidad natural”, donde el curso de la instrucción no precede al proyecto, sino que está integrado en él, de manera que la conducción del proyecto en sí es la que permite los aprendizajes más relevantes y significativos.

Otro aspecto importante es que el trabajo escolar mediante proyectos no es privativo de ninguna disciplina en particular, pero asume particularidades de dominio en relación con el ámbito disciplinario donde se realiza y con el contexto educativo donde se sitúa. Así planteado, no es lo mismo si se trabaja la metodología de proyectos en la enseñanza de las ciencias en bachillerato y se pretende con ello iniciar a los alumnos en la investigación científica, que si se desarrolla un proyecto de composición escrita en la clase de español de tercer grado centrado en adquirir competencias comunicativas para la vida cotidiana. Tampoco es que exista una visión única de lo que es el método científico y su aplicación en un proyecto con fines de enseñanza-aprendizaje; en este caso, el lector encontrará en este terreno la presencia de los debates actuales entre las ciencias duras y las sociales, o entre los enfoques cualitativo y cuantitativo.

Aunque en la versión original de la educación progresista los proyectos se planteaban como interdisciplinarios, hoy en día, y desde perspectivas afines a las que hemos venido revisando, encontramos documentadas experiencias educativas donde los proyectos se vinculan a una sola disciplina (p. ej., matemáticas), son de carácter interdisciplinario (p. ej., enseñanza de las ciencias naturales y sociales), o apuntan a aprendizajes “no disciplinarios” en sentido estricto, del orden de la socialización o de las llamadas competencias transversales en el currículo.

Es muy cierto que la situación idónea para la realización de un proyecto se ubica en la “vida real” con un modelo de práctica *in situ* y niveles altos de actividad social y relevancia cultural (véase el capítulo 1), pero también es frecuente que las situaciones de simulación situada de problemas o fenómenos de interés (científicos, sociales, ambientales, etc.) sean más viables en el contexto escolar y permitan al docente un manejo más pausado y controlado del asunto en estudio. De nuevo, lo importante es que los proyectos generen oportunidades de aprendizaje significativo para los alumnos, rescaten sus intereses y promuevan sus puntos fuertes. En este sentido, se puede afirmar que esta forma de trabajo, al igual que las demás estrategias que revisamos en este libro, conducen al alumno al despliegue de las llamadas inteligencias múltiples. Es bien sabido que la enseñanza tradicional descansa ante todo en la inteligencia verbal-lingüística y en la lógico-matemática; por el contrario, las estrategias basadas en las perspectivas experiencial y situada trabajan los planos anteriores y también otras modalidades de aprendizaje: audiovisual, kinestésico, musical y artístico, intra e interpersonal.

2.3 Los pasos de un proyecto y su puesta en marcha en el aula

En la sección precedente reconocimos variantes en lo que se consideran las fases de la metodología de enseñanza mediante proyectos, así como en relación con las posibles prácticas y estrategias docentes que se asocian a dicha enseñanza. No obstante, en este apartado recuperaremos algunas propuestas coincidentes con los postulados asumidos en este capítulo que pueden resultar de gran utilidad en el diseño de entornos de aprendizaje basados en el método de proyectos, ya sea que éstos sean el punto focal de las experiencias educativas o bien se integren a otras estrategias de enseñanza-aprendizaje. En todo caso, lo que no debemos perder de vista es que el trabajo con proyectos se orienta a plantear a los alumnos desafíos abordables y a motivarlos en la dirección de la construcción conjunta del conocimiento y del aprendizaje significativo. La meta con la que entra el docente al aula es que sus estudiantes desarrollen un fuerte sentido de pertenencia y control sobre su propio aprendizaje en un ambiente centrado en el alumno y en el trabajo cooperativo.

Una posible primera inquietud del lector es la del tipo de experiencias y producciones que entren en la categoría de proyectos. Es evidente que pueden existir diferencias en función de los autores y sus perspectivas; por ello, y sólo a manera de ilustración, en el Cuadro 2.3 se presenta una síntesis y adaptación de los ejemplos de posibles proyectos que resultan relevantes en entornos escolares de nivel básico y medio, de acuerdo con Wasserman (1994). No constituyen un recuento exhaustivo de posibles proyectos, tan sólo arrojan luz sobre el particular. Vale la pena observar que estos ejemplos pueden variar considerablemente en la manera de llevarlos a la práctica y en el nivel de “situatividad” o autenticidad de las prácticas educativas y sociales que propician. Ahora bien, en el caso de los proyectos que se generan en la educación universitaria y tecnológica,

el tipo y complejidad de los mismos están por lo general en estrecha relación con las capacidades y saberes que definen el ejercicio social de la profesión en cuestión.

También es importante hacer notar que, para algunos autores, el análisis de casos o aprendizaje basado en casos, así como el aprendizaje basado en problemas (ABP), forman parte o se desprenden del enfoque de aprendizaje basado en proyectos, cuyo carácter es más amplio e inclusivo, pero tienen una serie de rasgos particulares que conviene reconocer. Por ello es que en este libro se incluyen sendos capítulos sobre el ABP y el análisis de casos, así como sobre el aprendizaje en el servicio, también conocido como modelo “aprender sirviendo”.

Cuadro 2.3. Ejemplos de posibles proyectos escolares (basado en Wasserman, 1994).

- Presentaciones (transparencias, carteles, audiovisuales, multimedia, etc.) donde se examinen ideas, temas o problemas específicos relacionados con una o varias materias o con contenidos no disciplinarios y transversales.
- Entrevistas u obtención de información a partir de narraciones personales, anécdotas, historias orales, etc., como formas de comprender determinados actores, comunidades, acontecimientos, periodos o sucesos.
- Estudios sobre determinados grupos, organizaciones, empresas, etc., con un análisis de los aspectos sociales, culturales, políticos o económicos, trazando su desarrollo histórico, su situación presente, sus planes futuros.
- Análisis de casos: construcción de narrativas que arrojen luz acerca de cuestiones complejas en determinadas situaciones problema.
- Representaciones o historias que permitan demostrar la comprensión de un acontecimiento, grupo o sistema mediante la escritura de un libreto o historia acerca del mismo.
- Trabajo artístico, escultura, modelado, inventos, historietas, etc., que permitan crear y comunicar ideas o temas a través de medios visuales, audiovisuales, hipertextuales o multimedia.
- Libros, periódicos, revistas, folletos, carteles, que permitan la creación literaria de eventos específicos a través de narrativas, biografías, artículos, etcétera.
- Proyectos por computadora o con apoyo en diversas tecnologías informáticas, de muy diversa índole y propósitos (p. ej., artísticos, científicos, de diseño, planes con diversos propósitos, paquetes de información).
- Creación y animación de videos o filmes que caractericen un acontecimiento, asunto o tema de gran importancia.
- Creación y/o interpretación de música y letra que represente la identidad, los valores y el clima social o político de un periodo, grupo o cultura.
- Diseño y conducción tutelada de experimentos científicos.
- Diseño y conducción tutelada de propuestas de intervención social y apoyo o mejoramiento del bienestar de su comunidad.

FOTO 5

A continuación se revisarán tres propuestas de enseñanza a través del desarrollo de proyectos; la primera se ubica en la educación básica y en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, la segunda es pertinente al diseño de proyectos sociales y culturales en el nivel profesional, mientras que la tercera se denomina método de proyectos en la industria y se enfoca a la enseñanza de la tecnología en las escuelas de nivel medio. Con esto hemos querido ilustrar las posibilidades del trabajo mediante proyectos, así como contrastar niveles educativos y campos de conocimiento y aplicación. Nuestra intención no es prescribir, y mucho menos de forma rígida, cómo conducir proyectos en el aula, sino ofrecer al lector interesado algunas pautas e instrumentos que le permitan, por un lado, reflexionar sobre la manera de enseñar con base en proyectos, y, por otro, derivar elementos que le permitan enriquecer este tipo de trabajo en el contexto de su aula.

La primera propuesta, a nuestro juicio interesante y asequible para la aplicación de proyectos en la educación básica (primaria y secundaria), y en concreto en la enseñanza de contenidos científicos, es la que plantea el diseño de proyectos para la realización de una feria de las ciencias (*Science Fair Project*), que ha desembocado en diversos modelos y propuestas en escuelas estadounidenses y canadienses, y que en la actualidad cuenta con el apoyo de diversas organizaciones educativas y de sitios y dispositivos informáticos muy variados (véase los protocolos y recursos que ofrecen a través de la internet organizaciones como Canada Wide Science Fair, ScienceStuff.com y Cyber Fair, entre otros).

Los proyectos se vinculan al currículo escolar en sus diferentes niveles y se inscriben en materias del área científica (química, física, biología, etc.), aunque el espectro de aprendizajes buscados resulta siempre más amplio que la sola adquisición de conceptos y principios de las ciencias en cuestión, por lo que el abordaje resulta al final interdisciplinario. Una cuestión central, apuntada ya desde la filosofía progresista, era la importancia de conducir verdaderos experimentos científicos, por más sencillos que sean, por medio de los cuales los estudiantes construyan un modelo o realicen una demostración, pero siempre en torno a la idea de resolver un problema planteado en la forma de una pregunta susceptible de indagación empírica. De esta manera, los pasos para la realización del proyecto son los propios del método científico experimental, que se reconoce como la forma válida de apoyar con bases una idea o una teoría en el campo de las ciencias naturales:

- Observación y documentación (libros, revistas, internet, personas, organizaciones) de un asunto o tópico de interés.
- Definición de una pregunta que lleve a una situación problema por resolver.
- Planteamiento de una hipótesis o conjetura susceptible de ponerse a prueba.
- Delimitación de un método de experimentación conciso y pertinente a la pregunta.
- Obtención y análisis de observaciones y resultados a través de la conducción de un experimento controlado.
- Redacción de conclusiones.
- Elaboración de un reporte del proyecto (escrito, audiovisual, multimedia).
- Presentación y socialización del proyecto y de los productos generados en él.

Los alumnos pueden estar interesados en el funcionamiento de las máquinas, en los animales, las plantas, música, cocina, deportes, etc. Es a partir de esos intereses que pueden

seleccionar con la ayuda del docente el asunto de su interés y definir la pregunta de investigación que guiará el proyecto. Los aprendizajes buscados son múltiples: la búsqueda manual y electrónica y la lectura estratégica de material disponible y apropiado a la edad de los alumnos sobre el tema de interés; la visita a escenarios de interés o las entrevistas con informantes clave; la adquisición de habilidades para el diálogo y la argumentación oral y escrita de sus ideas; la aplicación situada de procedimientos matemáticos o estadísticos en el análisis de los datos; el despliegue de habilidades manuales o técnicas en la construcción de sus modelos, prototipos o carteles para la exposición; el manejo de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación como herramientas cognitivas al servicio del proyecto. No menos importantes son la motivación intrínseca y la inventiva o la creación artística y el gusto estético que el alumno desarrolla en torno a lo que hace, individual y colectivamente.

Con el interés de ilustrar lo anterior, en la Figura 2.2 se muestra un ejemplo de formato para la exposición de un proyecto pertinente al modelo de la feria de las ciencias que recién comentamos (tomado de www.rossarts.org, 2004). Nos parece importante que el lector reflexione sobre los aprendizajes logrados por los alumnos en una actividad experiencial como ésta, en contraste a quedarse sólo con la lectura “teórica” de los principios propios del fenómeno científico estudiado. También es importante considerar que un proyecto como el que se ejemplifica puede realizarse con distintos grados de complejidad y extensión, dependiendo no sólo de la edad y grado escolar de los alumnos en cuestión, sino de la intención y facilidades que proporcione el ambiente de aprendizaje mismo.

Figura 2.2. Formato para la exposición de un proyecto en la feria de las ciencias.



Sin embargo, en la realización del proyecto -y en su evaluación- no sólo se toma en cuenta el producto o prototipo final elaborado, o su exposición. Igual importancia revisten el proceso de planeación y la asesoría o supervisión del desarrollo o nivel de avance de dicho proyecto. Como parte del modelo de proyecto para la feria de las ciencias mencionado, se solicita al alumno o grupo de alumnos que elaboren antes un plan inicial o propuesta del proyecto. Dicha planeación se acompaña de una “carta compromiso” o “contrato” firmado por los alumnos y el docente, y en ocasiones por los padres de familia, donde se estipulan los compromisos contraídos, las “reglas del juego”, los productos y los plazos de entrega. Más tarde se supervisa el avance y productos parciales del proyecto en varios momentos, con la participación no sólo del profesor, sino de los propios padres. La evaluación no se circunscribe a “calificar el producto”; desde el inicio se establecen con claridad y se dan a conocer los criterios e indicadores o estándares esperados, y los alumnos

saben qué se espera del proyecto y de ellos mismos. Así, tienen clara su meta y están en posibilidades de identificar cuándo están generando un buen trabajo y cuándo no. En el capítulo 5 volveremos sobre este punto en relación con la evaluación auténtica centrada en el desempeño; por el momento, sólo para ilustrar lo anterior, se incluyen el formato de planeación de un proyecto para la feria de las ciencias y un instrumento con los criterios para su evaluación (véase los Cuadros 2.4 y 2.5) a partir de versiones adaptadas de las propuestas para educación básica de www.rossarts.org y www.ScienceStuff.com, ambas de 2004.

Cuadro 2.4 Planeación y supervisión de un proyecto para la feria de las ciencias.

Sección A. Plan de trabajo	
Nombre del alumno (s) _____ Edad _____ Grado _____ Profesor (a) _____	
Escriban el título y propósito de su proyecto y lo que planean hacer. Incluyan los materiales y recursos que necesitarán para completarlo.	
Título del proyecto:	
El propósito de este proyecto es:	
El problema es:	
El experimento que pensamos realizar consiste en:	
Las referencias y autores en que nos apoyamos son:	
Los materiales necesarios son:	
Cómo vamos a registrar y comunicar los resultados:	
Imaginen cómo se verá su proyecto una vez terminado. En una hoja en blanco dibujen su proyecto lo más detalladamente posible, sin olvidar las partes y los materiales.	
Me comprometo a realizar este proyecto aportando lo mejor de mi conocimiento y esfuerzo, así como a trabajar de manera responsable y cooperativa con mis compañeros de equipo: Fecha ___ Nombres y firmas (alumnos, profesor, padres de familia, tutores).	
Sección B. Reporte de avance Núm. ____	
Título del proyecto _____ Fecha _____	
Describan lo avanzado a la fecha en relación con su proyecto:	
Lo que les falta realizar para concluir el proyecto es:	
Las dudas que tienen o el apoyo que requieren para continuar consiste en:	

Qué tan satisfechos se encuentran en relación con la responsabilidad y trabajo realizado por cada participante del equipo:

Nombres y firmas (alumnos, profesor, padres de familia, tutores).

Cuadro 2.5 Formato para la evaluación de proyectos de la feria de las ciencias

Creatividad	Puntuación
¿El estudiante mostró curiosidad?	4 3 2 1 0
¿El proyecto y la presentación muestran ingenio en diseño y desarrollo?	4 3 2 1 0
El estudiante/grupo mostró creatividad en el diseño de la exposición?	4 3 2 1 0
Pensamiento científico	
¿El problema o tópico son apropiados para conducir una investigación científica?	4 3 2 1 0
¿El problema está planteado claramente?	4 3 2 1 0
¿El problema está bien delimitado?	4 3 2 1 0
¿El método de investigación es apropiado para el problema?	4 3 2 1 0
¿Se eliminaron las variables extrañas, se incluyeron controles y se revisaron los resultados?	4 3 2 1 0
¿Los datos recabados justifican las conclusiones?	4 3 2 1 0
Rigurosidad	
¿El proyecto es resultado de una planeación cuidadosa?	4 3 2 1 0
¿El proyecto indica una comprensión a fondo del tópico seleccionado?	4 3 2 1 0
¿La información es precisa?	4 3 2 1 0
¿El cuaderno o carpeta de notas documenta con suficiencia el trabajo realizado por el alumno/grupo?	4 3 2 1 0
¿Se recopilaron suficientes datos?	4 3 2 1 0
¿La exposición o presentación representa un todo o historia completa?	4 3 2 1 0
Habilidad	
¿El proyecto refleja el trabajo propio de cada estudiante?	4 3 2 1 0
¿El proyecto es sólido y está bien construido?	4 3 2 1 0
¿Todo el equipo empleado se ubica dentro del nivel de comprensión y experiencia de los alumnos?	4 3 2 1 0
¿El proyecto logra requerimientos seguros?	4 3 2 1 0
Claridad	
¿El proyecto se explica por sí mismo?, ¿puede entenderlo una persona ajena a él?	4 3 2 1 0
¿Los caracteres, señales y diagramas son limpios, ordenados, precisos?	4 3 2 1 0
¿Los caracteres, señales y diagramas se emplean apropiadamente, evitan el desorden y la confusión?	4 3 2 1 0

Escala de evaluación: Excelente=4; Bueno=3; Parcial=2; Hizo un intento=1; Ausente=0

En cuanto a la aplicación del método de proyectos en la educación media y superior, podemos decir que se conservan la filosofía educativa y los principios básicos, pero la estrategia de trabajo se complica y asume particularidades en función de la situación concreta que se afronta. En el caso de la educación superior, el cometido es la formación de profesionales capaces de intervenir en escenarios reales para solucionar problemas relevantes de su injerencia. Para el caso de la educación superior y la formación de profesionales, ejemplificaremos el desarrollo de proyectos sociales con base en la propuesta de dos autores latinoamericanos.

Ander-Egg y Aguilar (1998) ofrecen una propuesta para el diseño de proyectos de intervención social y cultural que se justifican por la existencia de una situación problema prevaleciente en una comunidad o escenario real que se quiere modificar o solucionar. Los autores ponen el acento en una planificación acuciosa, y su propuesta ha tenido gran éxito y difusión en el medio latinoamericano tanto en el ámbito de la intervención socio-educativa como en la enseñanza práctica de diversas carreras universitarias del área social. En particular, nos parece relevante su estrategia para el diseño del proyecto que parte de la respuesta a 10 preguntas centrales (el qué, por qué, cómo...), que desembocan ulteriormente en los apartados formales de dicho proyecto. La idea es que los estudiantes o las personas que van a desarrollar el proyecto realicen una primera aproximación al mismo con las respuestas a las preguntas que se indican, y que permiten aclarar el sentido, alcances y estrategia de intervención. Para estos autores es central que todo proyecto proponga un curso de acción concreto y bien definido, y que al mismo tiempo tenga claros los productos y resultados a los que pretende arribar. Hay que observar que los elementos esenciales corresponden a los de un abordaje científico y técnico pertinente al ámbito de las ciencias sociales. En el Cuadro 2.6 hemos integrado las preguntas y los elementos esenciales de un proyecto de acuerdo con esta propuesta.

Cuadro 2.6. Preguntas y elementos esenciales en un proyecto social y cultural (basado en Ander-Egg y Aguilar, 1998).

Preguntas	Elementos del proyecto
1. ¿Qué se quiere hacer?	<i>Naturaleza del proyecto:</i> Definición y caracterización de la idea central de lo que se pretende realizar; ámbito que abarca, contexto en que se ubica.
2. ¿Por qué se quiere hacer?	<i>Origen y fundamentación:</i> Hay que explicar la prioridad y urgencia del problema para el que se busca solución, y justificar por qué el proyecto es la propuesta más adecuada o viable para resolver ese problema.
3. ¿Para qué se quiere hacer?	<i>Objetivos, propósitos:</i> Indicar el destino del proyecto o los efectos que se pretenden alcanzar en términos de logros definidos.
4. ¿Cuánto se quiere hacer?	<i>Metas:</i> Son una traducción operativa de los objetivos, donde se indica cuánto se quiere hacer, qué servicios se prestarán, qué necesidades concretas se cubrirán, etcétera.
5. ¿Dónde se quiere hacer?	<i>Ubicación en el espacio:</i> Localización física o cobertura espacial que tendrán las

	actividades previstas en el proyecto.
6. ¿Cómo se va a hacer?	<i>Procedimiento:</i> Métodos y técnicas; actividades y tareas contempladas.
7. ¿Cuándo se va a hacer?	<i>Ubicación en el tiempo:</i> Calendarización o cronograma previsto.
8. ¿A quiénes se dirige?	<i>Destinatarios, beneficiarios:</i> Identificar el grupo-meta directamente favorecido con la consecución del proyecto y definir los beneficios concretos que recibirá una vez solucionado el problema en cuestión o satisfecha su necesidad concreta.
9. ¿Quiénes lo van a hacer?	<i>Recursos humanos:</i> En proyectos escolares, usualmente hace referencia al equipo de alumnos responsables y a su profesor-tutor, pero es posible el apoyo o asesoría de otros actores, e inclusive la co-participación de los mismos beneficiarios, de sus familias o de su comunidad.
10. ¿Con qué se va a hacer/costear?	<i>Recursos materiales y financieros:</i> Es importante que los alumnos aprendan a anticipar y cotizar el material, equipo, papelería, fotocopias, servicios, etc., para la realización de su proyecto.

Otro modelo interesante de enseñanza basada en proyectos es el de las escuelas francesas de nivel medio: método de proyectos industriales (Ginestié, 2002). En el contexto de la educación tecnológica, la idea central es proporcionar a los profesores una forma de enseñar a los alumnos cómo generar proyectos industriales viables y competitivos en el mercado. El método se enfoca al diseño o rediseño de un producto industrial, con dos tipos de funciones: su uso (por qué existe el objeto o producto) y lo que simboliza (por qué deseo comprar este producto y no otro). La elaboración del proyecto abarca el ciclo entero de vida del producto en cuestión, tal y como ocurre en la vida real, es decir, en las industrias, por lo cual abarca desde la idea o concepción inicial hasta su reciclaje, y consta de diez pasos:

1. Un análisis de necesidades en términos del usuario.
2. Un estudio de viabilidad.
3. La fase de diseño de las soluciones técnicas.
4. La definición de las propiedades finales del producto.
5. La industrialización o definición del proceso de manufactura del producto.
6. La aprobación del producto en términos del cumplimiento de normas oficiales o criterios de normalización y estandarización.
7. La producción o elaboración del producto.
8. La comercialización, incluso distribución, ventas, mercadotecnia.
9. Uso y operación real del producto, mantenimiento.
10. Reciclado: Previsión del final de vida útil del producto.

El modelo plantea que cada paso constituye en sí mismo una colección de problemas específicos, y que cada solución es el *input* o insumo de los nuevos problemas en el siguiente paso. En esta lógica de solución de problemas y en el contexto de la producción

industrial, el alumno tiene que adquirir y articular diversos saberes, y en concreto, técnicas y métodos muy específicos, incluso lo relativo a la gestión del proyecto. Desde el punto de vista pedagógico, el método requiere la integración de distintas dimensiones: económica, tecnológica, técnica, social y cultural. Para apoyar la enseñanza en las escuelas se han desarrollado diversos materiales y apoyos didácticos, como un libro de texto para la educación media, *La démarche de Project industriel*, que en opinión de Ginestié (2002) es un claro ejemplo de *transposición didáctica* en la educación tecnológica, es decir, muestra cómo un conocimiento socialmente compilado logra descontextualizarse, secuenciarse y reconstruirse para convertirse en conocimiento para enseñar.

A diferencia de otras propuestas psicopedagógicas, ésta ha sido objeto de investigación educativa, lo que nos permite valorar su uso real en las aulas. En uno de estos estudios, conducido por el propio Ginestié (*op. cit.*) se entrevistó y observó en clase a 78 profesores de la zona de Marsella que enseñaban educación tecnológica a alumnos de 12 años en promedio, de muy distintos niveles sociales y suburbios. Todos ellos enseñaban con base en el método de proyectos industriales. Se observó que el portafolios del alumno era el indicador más importante para evaluar el éxito de la educación tecnológica ofrecida; la estructura del portafolios era similar a la manera en que el profesor organizaba la enseñanza y correspondía en mayor o menor medida a los diez pasos del método, ya descritos. No obstante, los pasos de producción, comercialización y análisis de necesidades recibieron, en ese orden, más atención y tiempo por parte de profesores y alumnos. De particular interés resultaron los dominios electrónico, mecánico, administración de negocios, ciencias de la computación y automatización, como partes importantes de los portafolios y, por consiguiente, de los aprendizajes esperados.

Otro hallazgo importante se relaciona con los modelos de enseñanza adoptados por los profesores. En este estudio, la actuación de los docentes se ubicó en tres modalidades:

- a) Acción guiada por el profesor, donde éste instruye paso a paso a los alumnos; priva la lógica del profesor sobre la de los alumnos.
- b) Solución de problemas a partir de una tarea auténtica, donde el alumno asume la posición del experto y delimita la lógica de la tarea.
- c) Provisión de insumos teóricos y asignación de tareas: el profesor iniciaba con una explicación teórica y después planteaba a los alumnos tareas de aplicación.

Es interesante notar que más de la mitad de los docentes adoptó el tercer enfoque en la enseñanza como el más frecuente, aunque también se reveló que el enfoque cambiaba en función de la fase de la metodología que se trabajaba con los alumnos. Por ejemplo, la acción guiada fue muy frecuente en las fases de producción e industrialización, mientras que el enfoque de solución de problemas alcanzó su frecuencia más alta en las fases de análisis de necesidades y diseño. Una conclusión del estudio que conviene resaltar es que una cantidad considerable de profesores ponía el acento en la búsqueda de soluciones *a priori*, en el aprendizaje de los pasos de la metodología o en las prácticas por realizar más que en el conocimiento elaborado a partir de lo anterior. En pocos casos se ofrecieron elementos para desestabilizar las preconcepciones de los alumnos o para cambiar los procesos de solución de problemas con los que estaban familiarizados. Por último, el autor considera que aunque hay logros importantes en la aplicación del modelo, persiste una

diferencia considerable entre las actividades industriales y las actividades escolares en la enseñanza tecnológica. Esta conclusión la podemos interpretar, al menos en parte, como una necesidad de zanzar esta brecha reforzando una enseñanza más auténtica, en este caso de la educación tecnológica, que resulte acorde a los postulados de la enseñanza situada que hemos venido revisando.

Por otro lado, los resultados del estudio anterior también son un llamado de atención a la importancia de la actuación pedagógica del profesor. Ya en el capítulo anterior se plantearon diversos recursos docentes en torno al concepto de mediación del aprendizaje, que desde las perspectivas sociocultural y de la enseñanza reflexiva resultan básicos en los procesos de construcción del conocimiento y formación en la práctica. Sólo a manera de recapitulación y como cierre de esta sección los traemos de nuevo a cuenta:

- Tutoría y supervisión periódica del plan y desarrollo del proyecto, incluso los procesos y producciones generadas por los alumnos, así como las formas de organización y trabajo conjunto de éstos.
- Observación de procesos y agentes que permita entablar diálogos reflexivos con los alumnos *en y sobre* lo que se está realizando en la práctica, de manera que ellos mismos puedan regular y evaluar su desempeño.
- Promoción de una interacción conjunta profesor-alumnos, alumnos-alumnos que permita la construcción conjunta, o co-construcción, del conocimiento, sin sobreimponer la lógica del profesor ni privar de apoyo a los alumnos.
- Ajuste de la ayuda pedagógica, en el sentido de diversificar los apoyos requeridos por los distintos alumnos o equipos de trabajo en la concepción y desarrollo de sus proyectos.
- Cesión gradual de la responsabilidad y el control de los aprendizajes buscados por parte del profesor hacia los alumnos, en el sentido de fomentar en ellos la autonomía, la responsabilidad y la toma de decisiones, lo cual de ninguna manera significa “dejarlos solos” o plantearles desafíos inabordables.

2.4 El aprendizaje cooperativo como estrategia central en la enseñanza basada en proyectos

El conocimiento es un fenómeno social, no una *cosa*. La construcción del conocimiento está mediada por la influencia de *los otros*, y por eso el aprendizaje implica la apropiación de los saberes de una cultura mediante la re-construcción y co-construcción de los mismos. En este sentido -y sin desconocer la importancia de los procesos de autoestructuración- la perspectiva sociocultural afirma que el alumno no aprende aislado. En el ámbito escolar, la posibilidad de enriquecer nuestro conocimiento, ampliar nuestras perspectivas y desarrollarnos como personas está determinada por la comunicación y el contacto interpersonal con los docentes y los compañeros de grupo.

Los participantes de una situación de enseñanza parten de sus marcos personales de referencia, porque les permiten una primera aproximación a la estructura académica y social de la actividad que enfrentan. Pero es mediante la acción conjunta y los intercambios comunicativos, en un proceso de negociación, como se construyen los marcos de referencia

interpersonales que conducirán a lograr un significado compartido de la actividad. Los alumnos construyen significados a propósito de ciertos contenidos culturales, y los construyen sobre todo gracias a la interacción que establecen con el docente y con sus compañeros. Coll y Solé (1990, p. 332) plantean claramente esta relación en la siguiente cita: “la enseñanza puede describirse como un proceso continuo de negociación de significados, de establecimiento de contextos mentales compartidos, fruto y plataforma a la vez de este proceso de negociación”.

De ahí la importancia de promover la cooperación y el trabajo conjunto en el aula, más aún si dicho trabajo se orienta a la realización de actividades auténticas y se enfrenta al reto de resolver problemas o desarrollar proyectos situados. Hoy en día, la promoción de estructuras cooperativas en el aula es un tema en boga, pero las raíces intelectuales del aprendizaje cooperativo se encuentran tanto en el estudio de los procesos grupales como en tradiciones educativas relacionadas con la escuela activa y la educación progresista, que destacan una práctica y un pensamiento democráticos así como el respeto al pluralismo en sociedades multiculturales. En otro espacio abundamos ya en las estrategias existentes para la conducción y la evaluación de los grupos cooperativos (véase Díaz Barriga y Hernández, 2002); en este caso el interés reside en la relación que guarda el trabajo mediante proyectos situados con la conformación de estructuras de organización y participación cooperativas.

El tema de la cooperación no se reduce en forma alguna a la disposición de técnicas puntuales o de dinámicas para el trabajo grupal o en equipos pequeños. Se refiere de manera amplia a la organización social de las actividades en el aula, que incluye varios componentes, entre ellos el tipo de estructura de aprendizaje que se propicia, las metas y recompensas que se persiguen, el tipo de interacciones permitidas entre los participantes o la estructura de la autoridad misma. Diferentes formas de organización social del trabajo en el aula generan o inhiben determinadas relaciones psicosociales, más que nada el grado de interdependencia entre los participantes. El grupo de investigación del Centro para el Aprendizaje Cooperativo de la Universidad de Minnesota (Johnson y Johnson; 1989; Johnson, Johnson y Holubec, 1990, 1999) caracterizó tres estructuras básicas de aprendizaje vinculadas a la organización social en el aula, que se definen en términos del tipo de interdependencia que promueven: las estructuras cooperativa, individualista y competitiva (véase la Figura 2.3 y el Cuadro 2.7).

Figura 2.3. Organización social y estructuras de aprendizaje



Cuadro 2.7. Tipos de estructuras de aprendizaje

Estructura de aprendizaje	Características
<p style="text-align: center;">Individualista</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las metas de los alumnos son independientes entre sí. • El logro de los objetivos de aprendizaje depende del trabajo, esfuerzo y capacidad de cada quien. • No hay actividades conjuntas. • Son importantes el logro y el desarrollo personales.
<p style="text-align: center;">Competitiva</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los objetivos de cada alumno dependen de lo que consigan sus compañeros. • Los alumnos se comparan y ordenan entre sí. • El alumno obtiene una mejor calificación cuando sus compañeros rinden poco. • Son importantes el prestigio y los privilegios alcanzados.
<p style="text-align: center;">Cooperativa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las metas de los alumnos son compartidas. • Los alumnos trabajan para maximizar su aprendizaje tanto como el de sus compañeros. • El equipo trabaja hasta que todos alcanzan su objetivo. • Son importantes las competencias sociales, el intercambio de ideas, el control de los impulsos, la diversidad, el diálogo.

Así, vemos que cooperar es trabajar juntos para lograr metas compartidas, lo que se traduce en una *interdependencia positiva* entre los miembros del grupo. En este caso, el equipo o grupo trabaja junto hasta que *todos* los miembros del grupo entendieron y completaron la actividad con éxito, de forma que la responsabilidad y el compromiso con la tarea, así como los beneficios, son válidos para cada individuo y para todos los demás integrantes (Johnson, Johnson y Holubec, 1999). Para estos autores, el aprendizaje cooperativo requiere el empleo didáctico de grupos reducidos en los que los alumnos trabajan juntos para maximizar su propio aprendizaje y el de los demás. Un *grupo* puede definirse como “una colección de personas que interactúan entre sí y ejercen una influencia recíproca” (Schmuck y Schmuck, 2001, p. 29). Dicha influencia recíproca implica intercambios mutuos en una interacción comunicativa en la que se intercambian señales (palabras, gestos, imágenes, textos) entre las mismas personas de manera continua en un periodo de tiempo dado, lo que permite que cada miembro afecte a los demás en sus conductas, creencias, valores, conocimientos u opiniones. En este sentido, la simple proximidad física no define un grupo, sino la presencia de interacciones significativas entre sus integrantes.

A la luz de los conceptos anteriores, queda claro que no toda actividad que se realiza en “grupo” o “equipo” implica cooperación. Con frecuencia, la realización de trabajos en equipo, mediante proyectos o con otra modalidad, no es otra cosa que una división inequitativa del trabajo, donde en realidad no se dan intercambios constructivos entre los integrantes. Johnson, Johnson y Holubec (1999) identificaron lo que llaman “grupos” no cooperativos:

- Los *grupos de pseudoaprendizaje*, donde los estudiantes acatan la directiva de trabajar juntos, pero sin ningún interés. En apariencia trabajan juntos, pero en realidad compiten entre sí, se ocultan información, existe mutua desconfianza. Trabajarían mejor en forma individual, pues “la suma del total es menor al potencial de los miembros individuales del grupo” (*op. cit.*, p. 17).
- Los *grupos o equipos de aprendizaje tradicional*, donde se pide a los alumnos que trabajen juntos y ellos están dispuestos a hacerlo, intercambian o se reparten la información, pero es mínima la disposición real por compartir y ayudar al otro a aprender. Algunos alumnos se aprovechan del esfuerzo de los laboriosos y responsables, y éstos se sienten explotados.

En el segundo caso aparece el fenómeno de los llamados *free riders*, documentado por Olson (1992) en su teoría de la acción colectiva. Estos “polizones” o “viajeros de gratis” son quienes se benefician de la acción colectiva de los demás sin aportar nada, sin “pagar los costos”, es decir, sin cooperar. Su actuación en el grupo tiene efectos negativos en la acción colectiva y en el logro del interés común.

¿Qué define entonces a un grupo cooperativo? La respuesta, al menos en parte, se encuentra en los componentes básicos del aprendizaje cooperativo planteados por los hermanos Johnson: la interdependencia positiva, la interacción promocional cara a cara, la responsabilidad y evaluación personal del aprendizaje de los integrantes, el manejo de determinadas habilidades sociales e interpersonales requeridas para cooperar, y el

procesamiento o reflexión sobre el trabajo del grupo. A nuestro juicio, todos ellos son componentes básicos que deben estar presentes en el proceso conducente a la realización de un proyecto o de otra actividad de aprendizaje de tipo experiencial y situada, si es que se quiere ser consistente con los principios educativos de estos enfoques y lograr que los aprendizajes sean benéficos no sólo desde el punto de vista académico, sino que redunden en la preparación para la vida en comunidad y fomenten un sentido de responsabilidad social. En el Cuadro 2.8 se explica en qué consisten los componentes básicos del aprendizaje cooperativo de acuerdo con Johnson, Johnson y Holubec (1990; 1999).

Cuadro 2.8. Componentes básicos del aprendizaje cooperativo

Componentes básicos	Características
Interdependencia positiva	Se logra cuando los estudiantes perciben un vínculo con sus compañeros de grupo de forma tal que no pueden lograr el éxito sin ellos (y viceversa) y entienden que deben coordinar sus esfuerzos con los de sus compañeros para poder completar una tarea. Los alumnos comparten sus recursos, se proporcionan apoyo mutuo y celebran juntos su éxito. Se logra establecer el objetivo grupal de maximizar el aprendizaje de todos los miembros de manera que estén motivados a esforzarse y lograr resultados que superen la capacidad individual de cada integrante por separado.
Interacción promocional cara a cara	Existe un conjunto de actividades cognitivas y dinámicas interpersonales que sólo ocurren cuando los estudiantes interactúan entre sí en relación con los materiales y actividades. A través de la interacción social se da la posibilidad de ayudar y asistir a los demás, influir en los razonamientos y conclusiones del grupo, ofrecer modelamiento social y recompensas interpersonales. La interacción interpersonal permite que los integrantes del grupo obtengan realimentación de los demás, y que ejerzan presión social sobre los miembros poco motivados para trabajar.
Responsabilidad y valoración personal	Se requiere de una evaluación del avance personal, del individuo y su grupo. El grupo debe conocer quién necesita más apoyo para completar las actividades, y evitar que unos descansen con el trabajo de los demás. Para asegurar que a cada individuo se le valore convenientemente es necesario evaluar cuánto del esfuerzo que realiza cada miembro contribuye al trabajo del grupo y proporcionar realimentación individual y grupal. No debe esperarse que todos los estudiantes aprendan lo mismo, debe darse expresión a las diferencias y a las necesidades educativas personales.
	Debe enseñarse a los alumnos las habilidades sociales requeridas para lograr una colaboración de alto nivel y para estar motivados

<p>Habilidades interpersonales y de manejo de grupos pequeños</p>	<p>a emplearlas: conocerse y confiar unos en otros; comunicarse de manera precisa y sin ambigüedades; aceptarse y apoyarse unos a otros; resolver conflictos constructivamente. Esto implica valores y actitudes como disposición al diálogo, tolerancia, empatía, honestidad, y un sentido de equidad y justicia en las relaciones con los demás.</p>
<p>Procesamiento en grupo</p>	<p>La participación en equipos de trabajo cooperativos requiere ser consciente, reflexiva y crítica respecto del proceso grupal en sí mismo. Los miembros del grupo necesitan reflexionar y discutir entre sí si están alcanzando las metas trazadas y manteniendo relaciones interpersonales y de trabajo efectivas y apropiadas. Permite identificar las acciones y actitudes útiles de los miembros, apropiadas, eficaces y cuáles no; y tomar decisiones acerca de las acciones o actitudes que deben continuar, incrementarse o cambiar.</p>

De acuerdo con Schmuck y Schmuck (2001), los profesores que facilitan la interdependencia positiva entre sus estudiantes son aquellos que conceden gran valor a la cohesión del grupo y ofrecen apoyo a los alumnos, que promueven clases productivas, donde ocurren intercambios afectivos positivos, se atiende y respeta la diversidad entre los alumnos y se conducen discusiones abiertas acerca del currículo y del grupo mismo. Pero Sapon-Shevin (1999) encuentra que el trabajo cooperativo en la escuela suele fallar cuando no se vincula directamente al currículo escolar o no permite la consolidación de verdaderas comunidades de aprendices que cotidianamente trabajan en aulas inclusivas, justas y democráticas.

Por su parte, la evaluación requiere conjugar los aspectos cuantitativos y cualitativos del aprendizaje logrado por los alumnos, así como conciliar los estándares planteados para toda la clase con los criterios logrados por cada equipo. El profesor puede realizar una especie de “triangulación”, es decir, considerar diversos elementos al realizar la evaluación, por ejemplo, dado el caso de un proyecto realizado por sus estudiantes en equipos pequeños, puede considerar la elaboración del reporte y las producciones generadas en el trabajo, la presentación oral frente al grupo o ante la comunidad educativa en la feria o exposición respectiva, la autoevaluación personal y grupal sobre el conjunto de problemas o respuestas que se resolvieron por acuerdo en el grupo, entre otras. En la decisión de la calificación, se requiere ponderar el nivel de desempeño individual con el de los integrantes del equipo en su conjunto. De hecho, autores como los que hemos venido revisando recomiendan los métodos de la llamada evaluación auténtica, como el portafolios, las rúbricas y otro tipo de evaluaciones y autoevaluaciones centradas en el desempeño como opciones más apropiadas (véase el capítulo 5). Pero con independencia del sistema de evaluación, resulta imprescindible no sólo la evaluación de los aprendizajes académicos o del proyecto como producto en sí mismo, sino la evaluación del funcionamiento del grupo, que, ya vimos antes, implica una reflexión compartida entre el docente y los integrantes de los equipos.

A pesar de las bondades del aprendizaje cooperativo, en estudios realizados al respecto se encuentra que en las escuelas prevalecen las estructuras que fomentan el aprendizaje individualista y el competitivo, que se ve plasmado no sólo en el currículo, el

trabajo en clase y la evaluación, sino en el pensamiento y la acción del docente y de los alumnos. En el contexto anglosajón, Johnson, Johnson y Holubec (1990; 1999) muestran estudios cuya evidencia revela que las sesiones de clase están estructuradas de manera cooperativa sólo de 7% a 20%, mientras que casi 80% implica aprendizaje individualista y/o competitivo.

De manera similar, en la investigación de Mendoza (2004) conducida en escuelas agropecuarias de nivel medio superior en México, se encuentra la prevalencia de la estructura individualista (65%) en comparación con la competitiva (17%), y al trabajo en equipo (18%) en el caso de las clases que se imparten en el aula, por ejemplo, en asignaturas como química e informática. Sin embargo, cuando el escenario educativo cambia y los alumnos trabajan en talleres, realizan trabajo de campo o participan en proyectos productivos, es decir, en espacios de enseñanza experiencial y en proyectos donde en realidad participan como protagonistas no sólo como receptores, se incrementa considerablemente el tiempo destinado a trabajar de manera colectiva y las actividades se aproximan al aprendizaje cooperativo definido por los componentes básicos que plantean los hermanos Johnson. No obstante, Mendoza prefiere hablar de “trabajo en equipo” en vez de “grupos de aprendizaje cooperativo”, pues en su investigación no encuentra en ninguna de las situaciones de enseñanza observadas que aparezcan todos y cada uno de los componentes básicos requeridos. Asimismo, resulta de interés que observó una frecuente “ayuda espontánea” entre los alumnos, la cual no era solicitada por los profesores ni tampoco fomentada explícitamente en la enseñanza, lo que hace suponer que no se aprovecha su potencial. Un resultado más de interés en este trabajo para los fines que nos ocupan es que el principal problema reportado por profesores y alumnos respecto de los inconvenientes de trabajar en equipo es el de la proliferación de los llamados *free riders*, ya discutido.

Para finalizar este capítulo y con la intención de dejar en claro el vínculo entre el trabajo experiencial mediante proyectos situados y las estructuras de participación cooperativas, presentamos una síntesis adaptada del testimonio de un profesor de 5° grado respecto de la forma en que trabaja el método de proyectos en su aula y la manera en que divide a sus alumnos en equipos (véase el Cuadro 2.9). El lector podrá reflexionar sobre esta experiencia y analizar si coincide o no con los postulados que hemos revisado o si en alguna medida resulta una práctica educativa modélica que le pueda resultar de provecho en su propio contexto.

Cuadro 2.9. El trabajo con proyectos y los grupos cooperativos: Reflexiones de un profesor de 5° grado.

Los alumnos entran a mi aula de 5° grado con niveles académicos tan distintos que me siento enseñando en el siglo XIX. Unos cuantos muestran dificultades básicas en la lectura, mientras otros leen a un nivel cercano al requerido en secundaria. Y lo mismo pasa en matemáticas, escritura, ciencias [...] También tengo estudiantes con dificultades en lectura pero muy buenos en matemáticas. Este amplio rango de habilidades es uno de los dilemas más difíciles que enfrento como profesor. Trato de abordarlo rescatando tanto mis años de práctica docente como mi propia experiencia como alumno, pero también apoyándome en la filosofía de la educación progresista. El

resultado es un enfoque que combina los proyectos curriculares con un agrupamiento ecléctico de los alumnos, teniendo dos objetivos: promover la equidad en mi clase y empujar a cada niño o niña a dar lo mejor de sí mismo. Mi meta es formar pensadores independientes que puedan ver críticamente el mundo y resolver problemas reales; el aula es un espejo del mundo real, de la diversidad social, por eso creo que los agrupamientos heterogéneos tienen sentido. Enseño en una escuela bilingüe inglés-español y mis grupos son de 36 alumnos aproximadamente. Las más de las veces formo equipos de trabajo heterogéneos, con chicos que varían en distintas habilidades y trabajan en pequeños grupos cooperativos en torno a un proyecto común: un juego de roles, una crítica, una discusión. En ocasiones los alumnos trabajan en parejas, dando conferencias entre pares, donde unos a otros se realimentan sobre lo que escribieron. Ocasionalmente permito que los alumnos escojan sus propios grupos, pero lo más importante es que los grupos siempre están cambiando. En ocasiones, los grupos funcionan como círculos de lectura autodirigidos, pero en matemáticas, dependiendo del concepto o habilidad a enseñar, por ejemplo las fracciones, trabajo con el grupo entero, con pequeños grupos, en pares o uno a uno. En otras áreas curriculares, como ciencias sociales, agrupo a los alumnos dependiendo del propósito, por ejemplo, respecto del movimiento abolicionista, se forman grupos de 3 a 5 alumnos que generan una lista de las cosas que saben sobre el tema y dicen qué les gustaría aprender. A veces miran ejemplos de trabajos realizados por alumnos de grupos anteriores y generan ideas de cómo los evaluarían a ellos y a sus propios trabajos. Mis estudiantes también han trabajado criticando las “etiquetas” y estereotipos de los programas de televisión más populares.

Pero aún si lo hago bien, el agrupamiento cooperativo es insuficiente como estrategia docente. Mi meta no es sólo que los alumnos entiendan el valor del trabajar juntos. También quiero promover un currículo antirracista que aliente a los niños a pensar críticamente y a cambiar el mundo. El aprendizaje cooperativo es un método valioso, pero necesitamos asegurarnos de que no se use para enseñar de una manera más efectiva el currículo tradicional, repleto de sesgos y estereotipos eurocéntricos.

Traducción selectiva y adaptada de:

B. Peterson, *Tracking and the Project Method*, 1998/1999

En todo caso, hay algunas cuestiones por resaltar: el rol central del docente es el de actuar como mediador o intermediario entre los contenidos del aprendizaje y la actividad constructiva que despliegan los alumnos para asimilarlos, pero al mismo tiempo el docente modela y enseña una cierta estructura de relaciones sociales y afectivas. Un sistema altamente competitivo y autoritario, que no permite la expresión personal de intereses y talentos, reproduce una forma de estratificación social en el aula, donde el poder, los privilegios y el prestigio se distribuyen en función de la manera en que se “etiqueta” a un estudiante. Si el docente opta por trabajar en el aula una metodología basada en proyectos y solución de problemas, es importante que no confunda los medios con los fines y se centre sólo en la enseñanza de los pasos del proyecto o del método científico *per se*. Es importante que, además de lo anterior, fomente de manera explícita la colaboración entre iguales, la

pertenencia y responsabilidad entre los miembros del grupo y la orientación hacia metas académicas intrínsecas, trascendentes personal y socialmente.

Es innegable que en la realización de un proyecto los alumnos juegan un papel protagónico, pero ello no quiere decir que el profesor se reduce a una suerte de “maestro de ceremonias” o “presentador”. El docente requiere compenetrarse en la dinámica de las situaciones en las que el alumnado recrea el conocimiento a través del desarrollo de sus proyectos y esto será factible en la medida en que sintonice de manera sensible y oportuna con los requerimientos de apoyo en cada situación concreta. Por ello su actuación tiene que ser muy flexible y diversificada en el sentido de ajustar de forma continua y pertinente las ayudas pedagógicas que presta a los alumnos y equipos de trabajo. Y finalmente, para poder enmarcar su actuación en una perspectiva constructivista, requiere presentar a los alumnos la tarea de elaborar un proyecto como un reto o desafío abordable y motivante en sí mismo que conduzca al desajuste óptimo, es decir, al cuestionamiento de lo que ya se sabe o se da por cierto, con la intención de buscar nuevos saberes y formas más elaboradas, complejas y productivas de entender o resolver los asuntos involucrados.

La enseñanza por proyectos: ¿mito o reto?*

Aurora Lacueva

¿Cuáles son los beneficios de la enseñanza por proyectos?
¿Cuáles son los riesgos?
¿Cuáles tareas son responsabilidad del docente y cuáles de los estudiantes?

Aunque a veces se considera una moda o, peor aún, se convierte en un mito, la enseñanza por proyectos resulta una estrategia imprescindible para lograr un aprendizaje escolar significativo y pertinente. En este artículo se intenta precisar características, ventajas, fases más genéricas y peligros que deben evitarse en esta clase de iniciativa. También se señalan tres tipos recomendables de proyectos de investigación estudiantil y otras actividades que pueden acompañar e interactuar fecundamente con ellos. El trabajo considera aspectos correspondientes al espacio entre las grandes declaraciones de principios y la práctica diaria en las aulas, intentando dar orientaciones útiles a maestros y a formadores de maestros.

Proyectos y actividades acompañantes

No hay un único modelo de proyecto ni una definición muy acotada de lo que debe ser un proyecto estudiantil, pero si podemos decir que es un trabajo educativo más o menos prolongado (de tres a cuatro o más semanas de duración), con fuerte participación de los niños y las niñas en su planteamiento, en su diseño y en su seguimiento, y propiciador de la indagación infantil en una labor autopropulsada conducente a resultados propios (Freinet, 1975, 1977; icem, 1980; Lacueva,

1997b). Un proyecto combina el estudio empírico con la consulta bibliográfica y, como luego explicaremos, puede incluir propuestas y/o acciones de cambio en el ámbito social.

Concebimos a los proyectos como el eje de la enseñanza escolar, aunque entrelazados con otras clases de actividades: las experiencias desencadenantes, los trabajos cortos y fértiles, y las fichas autocorrectivas (Lacueva, 1996). Las experiencias desencadenantes son actividades amplias y bastante informales que tienen como propósito familiarizar a los niños y niñas con múltiples realidades del mundo en que viven. Entre ellas están las visitas, los diálogos con expertos, las conversaciones sobre objetos o seres vivos llevados por los estudiantes al aula, el trabajo con textos libres, las lecturas libres, la observación de videos... Creemos que estas experiencias pueden ir despertando inquietudes e interrogantes en los pequeños, muchas de las cuales pueden servir de punto de partida a proyectos de investigación.

Por su parte, los trabajos cortos y fértiles son tareas más acotadas en el tiempo y más guiadas desde afuera, aunque siempre deben permitir cierta participación de los aprendices en su delimitación y desarrollo. Las consideramos parte de un "menú de degustación" que la escuela ha de ofrecer a las niñas y los niños; breves encuentros con la cultura que pueden conducir a empresas más complejas como los proyectos de investigación: observaciones, ex-

* En *Revista Iberoamericana de Educación*, número 16, pp. 165 a 187, OEI, Madrid, Enero-Abril, 1998. (Consultado en <http://www.rieoei.org/oeivirt/rie16a09.htm>)

perimentos semiestructurales, demostraciones, análisis de lecturas asignadas, simulaciones y sociodramas...

Por último, las fichas autocorrectivas permiten a cada estudiante avanzar a su propio ritmo en la consolidación de ciertos conocimientos o habilidades. Por ejemplo, realización de gráficos, uso de claves taxonómicas, dominio de conceptos o clasificaciones... Aunque pueden ser elaboradas artesanalmente por los propios docentes, convendría disponer además de una gama de productos más *industrializados* para asegurar mayor variedad, mejor presentación, mayor control de calidad, etcétera. La adaptación informática de las fichas les hace ganar en flexibilidad y dinamismo.

De la combinación inteligente de estos cuatro tipos de actividades resulta un atractivo y educador paquete de opciones para el trabajo infantil. Y los proyectos pueden iniciarse más fácilmente y desarrollarse mejor si están apoyados y reforzados por las restantes posibilidades.

Falsos proyectos

Conviene estar atentos a actividades que a veces se llaman *proyectos o investigaciones*, sin que lo sean de verdad. Entre esos falsos proyectos podemos mencionar:

- Las tareas para la casa, que consisten en buscar información sobre un tema señalado por el docente, copiando de los libros sin mayor procesamiento ni análisis.
- Las experiencias de laboratorio, en las que los niños siguen instrucciones paso a paso, sin más.
- Las encuestas elaboradas por el docente o el texto, que los estudiantes se limitan a pasar y procesar bajo instrucciones externas.
- Las observaciones hechas por mandato, rellenando guías entregadas al efecto.
- Las indagaciones realizadas a partir de problemas que se plantea el docente, un equipo de docentes o el programa oficial, y para las cuales se correlacionan contenidos programáticos de manera más o menos forzada.

En fin, no son proyectos todas aquellas actividades en las que el problema y la metodología ya vienen dados y donde las niñas y los niños se limitan a actuar, en todo caso, como *ayudantes de investigación*. A veces, algunas de estas labores pueden resultar valiosas, pero no las clasificamos como proyectos sino, si califican, como trabajos cortos. Para ser proyectos les falta la fuerza de la iniciativa y de la autogestión infantil.

Tres posibles tipos de proyectos

Desde el punto de vista de nuestra especialidad, la enseñanza de las ciencias naturales, estimamos útil destacar tres posibles tipos de proyectos: los científicos, los tecnológicos y los de investigación ciudadana o proyectos ciudadanos (Lacueva, 1996). Esta clasificación, con variaciones, también puede emplearse para los proyectos que surjan en otras áreas, especialmente en la de ciencias sociales.

En los *proyectos científicos*, los niños realizan investigaciones similares, hasta donde lo permiten sus condiciones, a las de los científicos adultos: indagaciones descriptivas o explicativas sobre fenómenos naturales (Harlen, 1989; Giordan, 1985). Serían ejemplos de proyectos científicos: hacer una colección de minerales de la región, predecir y comprobar las reacciones de las lombrices de tierra ante ciertos estímulos, estudiar la luz experimentando con espejos, prismas, lupas, diversos recipientes llenos de líquidos, linternas, velas...

En los *proyectos tecnológicos*, los niños desarrollan o evalúan un proceso o un producto de utilidad práctica, imitando así la labor de los tecnólogos. Tales serían los casos, por ejemplo, de construir aeroplanos con papel y cartulina, de inventar recetas de ensaladas y canapés, o de evaluar la calidad de varias marcas de lápices (Acevedo Díaz, 1996; Aitken y Mills, 1994; Waddington, 1987).

Finalmente, en los *proyectos ciudadanos*, los estudiantes actúan como ciudadanos inquietos y críticos, que solidariamente consideran los problemas que los afectan, se informan, proponen soluciones y, de ser posible, las ponen en práctica o las difunden, así sea a pequeña escala. Como ejemplos de este tipo de proyectos podemos

mencionar el estudio de hábitos nutricionales de compañeros del plantel, la investigación sobre posibilidades recreativas para niños en la comunidad, o la detección de fuentes de contaminación en la periferia de la escuela (Hurd, 1982; Aikenhead, 1996; Fensham, 1997).

Los distintos tipos de proyectos facilitan a los aprendices el desarrollo de diferentes clases de conocimientos y de habilidades, aunque tengan en común ser actividades de investigación. Así, según circunstancias, intereses y recursos, el docente puede ayudar a los estudiantes a perfilar un proyecto más hacia lo científico, lo tecnológico o lo ciudadano. Por otra parte, las conclusiones de un proyecto de cualquier tipo pueden llevar a nuevos proyectos, de similar o diferente naturaleza.

Ahora bien, esta tipología es de carácter indicativo y no debe asumirse estrictamente. Muchos proyectos concretos no serán puros y compartirán rasgos de dos o más de los tipos aquí presentados, o bien varios niños y niñas podrán trabajar juntos en un proyecto integrado que implique para cada uno asumir un cierto y distinto rol (algunos alumnos serían *científicos* y otros *tecnólogos* o, por ejemplo, trabajando conjuntamente para lograr un fin). No obstante, tomada sin rigidez, la clasificación nos parece útil para evidenciar y precisar posibilidades didácticas, pues ayuda a pensar con mayor apertura en la diversificada naturaleza de las investigaciones posibles.

Fases en la realización de un proyecto

Aunque cada tipo de proyecto plantea etapas particulares en su desarrollo, podemos señalar algunas fases genéricas presentes habitualmente en un trabajo de investigación, cualquiera que sea su naturaleza. En síntesis, son las fases de preparación, desarrollo y comunicación.

En la fase de *preparación* se realizan las primeras conversaciones e intercambios que plantean un posible tema de proyecto y lo van perfilando. También pertenecen a ella los momentos ya más precisos de planificación infantil, cuando se especifican el asunto, el propósito, las posibles actividades a desarrollar y los recursos necesarios. Les tenemos miedo a las planificaciones

demasiado minuciosas, pues cierran prematuramente posibilidades y, además, resultan pesadas para los pequeños investigadores por sus exigencias de exhaustivo registro escrito de lo que se va a hacer, a menudo siguiendo patrones muy rígidos y estereotipados. Preferimos planificaciones más sencillas, al alcance de los niños, pero siempre exigimos reflexión y previsión sobre el proyecto. El educador debe saber valorar en cada caso hasta dónde pueden llegar sus bisoños investigadores. Conviene tener presente que, a menudo, los niños pequeños no prevén series largas de acciones, a no ser que les sean muy familiares, sino que tienden a ir pensando en lo que hacen mientras lo hacen (Harlen, 1989); por ello, puede ser recomendable que empiecen planificando sólo la primera etapa de su investigación, y luego, tras su resultado, se planteen la siguiente, y así sucesivamente.

La fase de *desarrollo* implica la efectiva puesta en práctica del proyecto. Los diversos equipos necesitan espacios y tiempos para poder ir realizando su trabajo: equipos que trabajen muy juntos y sin condiciones ambientales ni recursos suficientes, no podrán cumplir satisfactoriamente su labor. No nos extendemos aquí en el tema de la base material necesaria para la investigación infantil, pero se trata de un asunto fundamental y le hemos dedicado atención en otros escritos (Lacueva, 1985).

Las actividades que hay que cumplir pueden ser muy variadas, de acuerdo con el tipo de proyecto y el tema elegido: trabajos de campo, encuestas, entrevistas, experimentos, visitas, acciones en la comunidad escolar o más allá de ella... La consulta bibliográfica debe estar siempre presente, en mayor o menor medida, a lo largo del proceso.

Es importante que los mismos alumnos vayan realizando el seguimiento de su labor, reservando para ello algunos minutos del tiempo de clase, y contando con el apoyo del docente. Maestros con experiencia en este enfoque recomiendan que cada grupo tenga una hoja grande de papel, donde se puedan ir anotando con palabras y flechas las actividades que se van cumpliendo dentro de su proyecto. Cuando diversos equipos realicen proyectos en un área común, es posible

que entre todos elaboren un pliego donde se vaya viendo, en forma resumida y de conjunto, la marcha de las diversas investigaciones; de esta manera se tiene siempre al alcance de todos el conocimiento global y el panorama relacionado de las indagaciones que se están llevando a cabo. El seguimiento y el control, especialmente los realizados por los propios niños, son necesarios porque ayudan a no perder de vista las finalidades del trabajo y a corregir errores por el camino. Sin embargo, tampoco deben crecer tanto y ganar tanto peso que aplasten la alegría y la espontaneidad del trabajo, en un hacer demasiado vigilado y supervisado.

La fase de *comunicación* a veces se olvida, o bien se vuelve rutinaria en una breve exposición oral ante los compañeros. Es importante valorar esta fase, tan relevante en toda investigación, y ofrecer diversos cauces para la misma, variables según circunstancias e inclinaciones de cada equipo. Algunos autores (véase, por ejemplo, Gethins, 1990) diferencian entre la puesta en común, una sencilla comunicación a los compañeros de los resultados de un proyecto, y otra denominada *presentación/celebración*, que implica una comunicación más allá de la clase, con mayor amplitud y diversidad de mecanismos, utilizando medios que pueden ser desde poemas y canciones hasta carteles, modelos o grabaciones.

Comunicar la investigación realizada no es sólo una acción *hacia afuera* sino también *hacia adentro*, en el sentido de que ayuda a los niños a poner más en orden sus pensamientos y a completar y perfeccionar las reflexiones ya hechas. La expresión escrita y/o gráfica de resultados, las exposiciones orales organizadas y otras vías de comunicación, representan niveles más formales y exigentes de manifestación de ideas y observaciones. Por otra parte, el diálogo con los interlocutores permite avanzar aún más en ese proceso. Al comunicar los resultados a otros se da pie también a la evaluación externa del trabajo, paso beneficioso porque ayuda a laborar con rigor y atención y se ofrece retroalimentación útil.

¿Por qué los proyectos?

Los proyectos son las *actividades-reinas* del ámbito escolar. Son las actividades que estimulan a los niños a interrogarse sobre las cosas y a no conformarse con la primera respuesta, problematizando así la realidad. Son las actividades que, también, permiten a los niños diseñar sus procesos de trabajo activo y les orientan a relacionarse de modo más independiente con la cultura y con el mundo natural y sociotecnológico que habitan. Son las actividades que conducen a los niños a poner sobre la mesa lo que de verdad piensan sobre los diversos temas. Son las actividades que con mayor fuerza hacen entrar en juego las ideas y la inventiva de los niños, llevándolos a movilizar sus *miniteorías* y a confrontarlas con otros y con la experiencia, contribuyendo de ese modo al mayor desarrollo de las concepciones infantiles. Son las actividades que mayor espacio abren a los intereses de los estudiantes y a su creciente capacidad de participar conscientemente en la conducción de sus procesos de aprendizaje.

Los logros afectivos y cognitivos de los proyectos, interrelacionados, no pueden alcanzarse cabalmente por otras vías. Creemos que la escuela sin proyectos es, lamentablemente, una escuela incompleta, que deja de ofrecer a las niñas y niños las experiencias más preciosas que debería ofrecer.

Cualquiera, niño, joven o adulto, que haya tenido la oportunidad de desarrollar de manera auténtica (esto es, autónoma) una investigación, por pequeña que haya sido, podrá darse cuenta de que esta actividad produce en quien la sigue una gran satisfacción, y estimula a conocer más, a seguir profundizando en lo investigado, como no puede hacerlo ninguna otra actividad escolar.

Podemos precisar algunas de las características positivas de los proyectos:

- Valoran los saberes y las experiencias de los niños y niñas, puesto que es a partir de ellos y gracias a ellos que se inclinan y desarrollan las actividades indagatorias.
- A su vez, el cumplimiento de los proyectos acrecienta los saberes y las experiencias infantiles.

En efecto, tratando de resolver los problemas de sus investigaciones, los niños se plantean la necesidad de saber más, lo que les estimula a la consulta de textos e impresos, a la conversación con expertos, a la discusión con docentes y compañeros, a la reflexión, a la observación, a la experimentación y a la acción práctica:

- Van abriendo nuevos horizontes y planteando nuevas exigencias a los estudiantes. La respuesta a una pregunta desencadena nuevas preguntas. El logro de una habilidad mueve al niño a *subir el listón* y a proponerse alcanzar otras habilidades más exigentes.
- Acumulan energía por el interés de los niños y niñas, se autopropulsan.
- Producen en los niños y niñas la satisfacción de conducir su propio trabajo, de participar y de lograr objetivos. Ello puede ir creando espirales positivas de desarrollo cultural y afectivo-personal (Hayes, 1990).
- Exigen el dominio de importantes habilidades. Proyectos de diferente tipo fomentan aptitudes distintas, pero de manera genérica podemos mencionar: el manejo de diversas fuentes de información, la realización de planes, la autoevaluación, la participación en grupos autónomos de trabajo y la comunicación efectiva usando variados medios y lenguajes.
- Propician alcanzar actitudes y valores positivos. Entre los más importantes pueden destacarse: la responsabilidad, la reflexión, el espíritu crítico y la rigurosidad en el trabajo.
- Estimulan a los niños a hacerse preguntas sobre el mundo en que viven, sin tomarlo como algo ya conocido.
- Propician el fortalecimiento de capacidades metacognitivas: capacidades de guiar, regular y favorecer los propios procesos de aprendizaje.
- Fomentan el aprendizaje cooperativo, con sus beneficios en términos cognitivos, socio-afectivos y morales (Fernández y Melero, 1995).
- Permiten el compromiso físico de los niños y las niñas, vinculado con la acción intelectual:

exigen manipulaciones, movimientos, desplazamientos variados y significativamente controlados por los propios estudiantes, quienes encuentran así la oportunidad de manifestarse corporalmente en la escuela, disfrutando de las posibilidades de su cuerpo y aprendiendo a dominarlo mejor (Alfieri, 1984; Lacueva, 1990).

- Estimulan la creatividad. Conviene tener presente que la creatividad no se manifiesta sólo en la clase de arte o en la hora de *escritura creativa*. Está presente también en las investigaciones científicas, tecnológicas o ciudadanas, que exigen crear ideas novedosas, llevar a cabo propuestas, construir hipótesis, diseñar objetos originales... La imaginación y la inventiva se despliegan en los proyectos, recibiendo después la respuesta de la realidad gracias al experimento, la prueba tecnológica o la acción social. [...]

¿De dónde surgen las ideas para los proyectos?

Las ideas para los proyectos no pueden surgir de una imposición: “Para mañana, investiguen sobre el petróleo” (o sobre la contaminación de las aguas, o sobre los aviones, o sobre la circulación de la sangre...). Los proyectos-tarea, hechos sin interés, por cumplir una obligación, son la antítesis de los verdaderos proyectos.

Por otro lado, no basta con decir que se puede investigar “sobre lo que ustedes quieran”. Esta invitación tan laxa deja a los niños sin apoyos y sin herramientas, en un contexto social y escolar que mayoritariamente no los ha estimulado a la indagación.

Los estudiantes requieren un ambiente y ayuda para poder iniciar y consolidar el trabajo por proyectos: la escuela está llamada a ampliar las vivencias infantiles y a presentar a los niños nuevos retos, impulsándolos a que empiecen a hacerse más preguntas y a que tengan de esta manera *material* de donde plantearse proyectos. Los intereses de los niños no han de tomarse como algo dado, que la escuela debe sólo aceptar. Es obligación de la institución escolar contribuir

a acrecentar y a diversificar los intereses infantiles, gracias a las experiencias que proponga y a los recursos que acerque al alcance de sus manos. Recordemos que más allá del aula los niños no viven *espontáneamente*, sino que sobre ellos actúan, no siempre de manera positiva, diversos factores y ámbitos sociales: la televisión, el barrio, la familia...

De la escuela de la rutina y de la copia no pueden surgir ideas ni inquietudes. La escuela como medio ambiente rico en recursos y en experiencias es la que permite y apoya las interrogantes y las indagaciones. Por eso nos parecen tan importantes las que hemos llamado *experiencias desencadenantes*: ellas ofrecen vivencias ricas que nutren la mente infantil y pueden motivar a los pequeños a plantearse preguntas. También las actividades fértiles, dentro de su mayor estructuración, son labores que pueden contribuir a despertar la curiosidad infantil sobre ciertos asuntos.

La vida de los niños fuera de la escuela es otra posible fuente de ideas para proyectos. Por ello es importante dejarla entrar en el aula, en vez de cerrarle las puertas.

Entre las experiencias desencadenantes y las actividades fértiles puede haber unas orientadas a tal efecto. Por ejemplo, los textos libres, los dibujos libres, las carteleras de *Novedades* elaboradas con material que traen alumnos y maestra...

Otra buena idea en esta línea es la agenda de bolsillo del maestro italiano Mario Lodi (mencionada por Tonucci, 1990: 63). Este educador lleva siempre consigo una pequeña agenda donde anota temas de conversación que tienen los niños entre sí y que él alcanza a oír. Son *ecos* de la vida e intereses infantiles que le llegan antes de entrar al aula, en el transcurso de los trabajos de equipo o en los recesos. Lodi va tomando nota, y, después de unos días, analiza lo que tiene. Este material le sirve para conocer mejor a sus alumnos y, eventualmente, para sugerirles temas de proyectos. La experiencia en *bruto* de los niños es tomada y organizada por el educador, quien luego la devuelve a los estudiantes para que sigan trabajando a partir de ella.

La misma actividad investigativa es otra rica cantera de ideas para nuevos proyectos. Una indagación ayuda a responder ciertas preguntas pero a la vez plantea otras, y a medida que permite conocer determinados temas va develando nuevos campos culturales por explorar. Ésta es una gran diferencia entre los proyectos y los ejercicios y actividades que normalmente aparecen en muchos libros de texto: los proyectos no terminan con un final concluyente, sino que se abren nuevas interrogantes y a nuevas posibilidades de indagación, mientras que los ejercicios de texto son generalmente cerrados y suponen llegar a una serie precisa de resultados y a conclusiones con las cuales acaba el proceso, sin ulteriores desarrollos, sin viabilidad para experiencias nuevas y sin que se abran caminos (Ciari, 1977).

Como ayuda orientadora adicional que contribuya a perfilar indagaciones infantiles, es posible ir recopilando sugerencias concretas de las que a menudo aparecen en libros divulgativos y en manuales para maestros de ciencias. Cuando haga falta, pueden servir para que los niños escojan entre ellas lo que quieran hacer, usándolas como un banco de posibilidades a su alcance. No serían una imposición sino un conjunto de invitaciones y de sugerencias. Incluso una propuesta de este banco puede servir como punto de partida, para luego ser considerablemente modificada por los estudiantes investigadores. El educador puede ir construyendo su banco de ideas para proyectos gracias a esas y otras fuentes y a sus propios planteamientos.

El papel del docente

Defendemos el protagonismo de los niños en los proyectos, pero ello implica a la vez un papel muy activo del docente. El maestro tiene mucho que hacer en la clase de investigación, a pesar de que no lleva el proceso directamente.

Una de sus labores es, como hemos dicho, ayudar a los niños y las niñas a ampliar su campo de intereses, proponiéndoles nuevas vivencias y alentándolos en el uso de nuevos recursos. Es importante también que oriente a los estudiantes hacia una mayor profundización de sus inquietudes.

Adicionalmente debe ayudar a perfilar los temas de investigación entre los muchos asuntos que los estudiantes pueden plantear. En ocasiones, los alumnos exponen temas demasiado amplios, cuyo desarrollo llevaría a la frustración. Otras veces, por el contrario, las materias son muy concretas y hay que abrirlas un poco. A partir de los asuntos que los alumnos traigan a colación, conviene canalizar sus proyectos hacia aquéllos más *promisorios*, para que el docente sepa que pueden llevar nuevos y valiosos conocimientos o a la adquisición de importantes habilidades. Así lo señala Ciari (1981), quien destaca también como un criterio relevante la *continuidad*: son positivas las investigaciones que pueden vincularse con algo que ya se ha hecho antes y que representan un desarrollo de lo anterior, basándose en lo alcanzado para seguir adelante. El mismo autor destaca otros dos criterios dignos de tenerse en cuenta: por una parte, el de lo *esencial*, lo que no puede ser ignorado so pena de una visión limitada del mundo y, por otra, el de lo *típico*, lo que debe conocerse por común y preponderante.

Otro momento importante del trabajo del docente ocurre cuando las niñas y los niños están realizando el plan de su proyecto de investigación. En esta fase, compete a la maestra o al maestro revisar los planes infantiles y colaborar para que sean suficientemente realistas y específicos. Como hemos dicho, debe evitarse el peligro de imponer pasos que los estudiantes no han llegado todavía a necesitar, en la búsqueda por parte del educador de una sistematización prematura o de una exhaustividad demasiado temprana. Sería el caso, por ejemplo, cuando se exige a los alumnos que planteen hipótesis o controlen variables de manera forzada, sin haber empezado primero por el tanteo experimental abierto. Es importante acompañar y apuntalar el proceso de los alumnos para irlo haciendo cada vez más completo y riguroso, pero sin que los niños y las niñas dejen de considerarlo suyo.

Posteriormente, y a lo largo de la investigación, la educadora o el educador han de velar por el adecuado cumplimiento de las actividades,

conversando con los niños investigadores y ayudándolos a que ellos mismos vayan haciéndole el seguimiento a su trabajo. Para concluir, el docente debe alentar a los muchachos a que realicen una buena comunicación del resultado de su labor y contribuir a que reciban útil realimentación sobre la misma.

En el transcurso del trabajo la intervención del educador ha de incitar a los niños a profundizar en sus reflexiones, a pensar de manera más detenida y compleja y a relacionar más. Asimismo, sus explicaciones, más o menos extensas, pueden ofrecer saberes valiosos para el trabajo infantil.

Uno de los principales aportes del educador es el de crear en el aula un clima cálido, de apoyo y aliento a la investigación estudiantil. Investigar implica emprender nuevos caminos, no siempre exitosos, implica equivocarse y volver a empezar, implica llegar en ocasiones a calles sin salida. Repetir lo que hay en el libro no implica riesgo, mientras que buscar cosas nuevas sí. Los alumnos no podrán ser inquietos investigadores si en la clase se castiga el error con acciones que pueden ir desde la burla hasta el punto menos. Tampoco se animarán a realizar indagaciones si de múltiples maneras se les hace ver lo poco que saben y lo torpes que son. La investigación infantil, para prosperar, necesita un ambiente de confianza y apoyo, de comprensión ante los traspies y de reconocimiento de los logros.

Puede apreciarse cómo el educador debe prepararse cada vez más para actuar en la clase de investigación, no sólo desde el punto de vista pedagógico sino también en el dominio de los temas científicos y tecnológicos. No se trata, desde luego, de que deba *saberlo todo* para cada proyecto infantil: allí está el aporte de los libros, de los videos, de los expertos, de la prensa... Pero sí es importante que las profesoras y los profesores acrecienten año con año su dominio de los temas de la ciencia y la tecnología, gracias a las lecturas, cursos, seminarios y otras fuentes de formación. El educador debe tener el conocimiento básico que le permita apoyar el trabajo infantil y orientar las adicionales búsquedas de información.

[...]

La prisa como enemiga

La actividad investigadora infantil necesita tiempo suficiente para poder desarrollarse de manera auténtica. Desconfiamos de los proyectos *de hoy para mañana*, que se plantean y se realizan aceleradamente. La escuela tradicional hace todo de manera muy rápida. En apariencia cumple con las labores, pero si examinamos más a fondo descubrimos que, con frecuencia, los productos son de poca calidad y el trabajo apenas araña la superficie del tema estudiado.

La investigación infantil requiere tiempo: tiempo para escoger el problema, para diseñar el plan de trabajo, para reformularlo si es necesario, para desarrollar lo planificado (con sus rectificaciones, sus idas y venidas, sus calles sin salida), y tiempo para la comunicación de resultados. Apurar el proceso guiando en exceso a los niños resulta contraproducente.

Los proyectos exigen tiempo, y mucho tiempo se puede consumir para resultados que a lo mejor se ven pequeños. Pero es que los proyectos son como *icebergs*: lo que se ve a primera vista es apenas una parte muy pequeña de todo lo logrado. En efecto, el esfuerzo de los muchachos y las muchachas en todos los procesos donde se ven involucrados a lo largo de la investigación implica muchas ganancias, más allá de lo observable en el estricto producto final. Docentes acostumbrados a la velocidad de las clases tradicionales, en las cuales un tema se ve en dos horas, pueden encontrar preocupante la lentitud del trabajo. Pero deben considerar que la verdadera formación, aquella que involucra a fondo a los estudiantes y pone en tensión todas sus capacidades, aquella que llega a valiosos avances en muy diversas facetas, es una tarea compleja y prolongada.

El horario tradicional de clase, con sus cortos lapsos compartimentados para asignaturas diversas, no favorece el trabajo por proyectos. Conviene dedicarle espacios más grandes de tiempo: una mañana o una tarde completas una o dos veces por semana. De esta manera, los niños pueden trabajar con tranquilidad en tareas que exigen concentración y dedicación, que no es posible resolver en 45 minutos.

Para los proyectos más complejos puede ser provechoso dedicar adicionalmente lapsos intensivos de labor de dos o tres días seguidos. Recordemos que este tiempo no se “pierde” puesto que gracias a él pueden lograrse aprendizajes de calidad en diversas áreas.

Lecturas recomendadas

- Acevedo Díaz, J. A. (1996), “La tecnología en las relaciones CTS. Una aproximación al tema”, en *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1), pp. 35-44.
- Aikenhead, Glen S. (1996), “Towards a First Nations Cross-Cultural Science and Technology Curriculum for Economic Development, Environmental Responsibility and Cultural Survival”, ponencia presentada en *Octavo Simposio de la International Organization of Science and Technology Education (IOSTE)*, Alberta, Canadá, Edmonton, pp. 17-22.
- Aitken, John y George Mill (1994), *Tecnología creativa*, Madrid, MEC/Morata.
- Alfieri, Fiorenzo *et al.* (1984), “A la escuela con un cuerpo”, en *Cuadernos de Educación*, núms. 113-114, Caracas, Laboratorio Educativo.
- Ciari, Bruno (1997), *Modos de enseñar*, Barcelona, Avance.
- (1981), *Nuevas técnicas didácticas*, Barcelona, Reforma de la Escuela.
- Fensham, P. J. (1987), “Changing to a Science, Society and Technology Approach”, en Lewis y Kelly, pp. 67-80.
- Fernández Berrocal, Pablo y Ma. Ángeles Melero Zabal (comps.) (1995), *La interacción social en contextos educativos*, Madrid, Siglo XXI.
- Freinet, Célestin (1975), *Técnicas Freinet de la Escuela Moderna*, 6ª ed., México Siglo XXI.
- (1977), “Por una escuela del pueblo”, en *Cuadernos de Educación*, núms. 49-50, Caracas, Laboratorio Educativo.
- Gethins, Elaine (1990), “Los procesos de escritura en el trabajo por tópicos”, en C. Sarah Tann, *Diseño y desarrollo de unidades didácticas en la escuela primaria*, Madrid, MEC/Morata pp. 90-102.
- Gimeno Sacristán, José y Ángel I. Pérez Gómez (1992), *Comprender y transformar la enseñanza*, Madrid, Morata.
- Giordan, André (1985), *La enseñanza de las ciencias*, 2ª ed., Madrid, Siglo XXI.
- Harlen, Wynne (1989), *Enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, Madrid, MEC/Morata.
- Hayes, Robert (1990), “Promoción de la inventiva de los niños pequeños”, en C. Sarah Tann, *Diseño*

- y desarrollo de unidades didácticas en la escuela primaria*, Madrid, MEC/Morata, pp. 112-122.
- Hierrezuelo, J. y A. Montero (1991), *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y la química*, Sevilla, Díada.
- Hurd, Paul de Hart (1982), "Biology for life and living: perspectives for the 1980s", en Faith M. Hickman y Jane B. Kahle (eds.), *New Directions in Biology Teaching*, Reston, Virginia, National Association of Biology Teachers.
- ICEM-Cannes (1980), "Un modelo de educación popular", en *Cuadernos de Educación*, núms. 71-72, Caracas, Laboratorio Educativo.
- Lacueva, Aurora (1985), "Recursos para el aprendizaje y desescolarización en la escuela básica", en *Cuadernos de Educación*, núm. 132, Caracas, Laboratorio Educativo.
- (1990), "El cuerpo del niño en la escuela", en *Revista de Pedagogía*, xi (21), pp. 9-14.
- (1996), "Las Ciencias Naturales en la Escuela Básica", en *Procesos Educativos*, núm. 10, Caracas, Fe y Alegría.
- (1997a), "Por una didáctica a favor del niño", en *Cuadernos de Educación*, núm. 145, 2ª ed., Caracas, Laboratorio Educativo.
- (1997b), "Retos y propuestas para una didáctica contextualizada y crítica", en *Educación y Pedagogía*, ix (18), pp. 39-82.
- Tonucci, Francisco (1990), *¿Enseñar o aprender?*, Barcelona, Graó (Biblioteca del maestro. Serie Alternativas).
- Waddington, D. J. (ed.) (1987), "Education Industry and Technology", en *Science and Technology Education and Future Human Needs*, vol. 3, Oxford, Pergamon Press.

Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza



César Mora¹, Diana Herrera^{1,2}

¹Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Av. Legaria 694, Col. Irrigación, C. P. 11500, México D. F.

²Centro Interdisciplinario de Ciencias de la Salud, Unidad Sto. Tomás, Av. De los Maestros s/n, Col. Sto. Tomás, C. P. 11340, México D. F.

E-mail: cmoral@ipn.mx

(Recibido el 1 de Noviembre de 2008; aceptado el 30 de Diciembre de 2008)

Resumen

A través de la historia se han utilizado algunos términos para referirse a las ideas previas, en este trabajo se discute pertinencia de algunos términos y por qué se eligió el de ideas previas. Posteriormente se definen las ideas previas, y se mencionan qué teorías hay para explicar cómo se pueden formar. Además, se presentan diferentes técnicas y herramientas (La Prueba Base de Mecánica, el Inventario del Concepto de Fuerza y la Evaluación de Fuerza y Concepto de Movimiento) a fin de conocer las ideas previas sobre el concepto de fuerza. Basándose en los resultados de un gran número de investigaciones se da una lista de ideas previas sobre la noción más común de fuerza. Por último, se analizan las diferentes teorías y propuestas para lograr que las ideas previas sobre el concepto de fuerza en los estudiantes, no sea un obstáculo en su aprendizaje.

Palabras clave: Concepto de fuerza, ideas previas.

Abstract

Throughout history some terms have been used to refer about previous ideas, in this work it is discussed the relevance of some terms and why they chose the previous ideas. Subsequently prior ideas are defined, and it is said what theories exists to explain how they can be form. Further it is presented different techniques and tools (Mechanics Baseline Test, Force Concept Inventory and Evaluation Force and Motion Concept) in order to know prior ideas on the concept of strength. Based on the results of a large number of investigations there is a list of previous ideas about the most common concept of force. Finally, it discusses the different theories and proposals to make students pre ideas on the concept of force, not an obstacle in their learning.

Keywords: Concept of force, misconceptions.

PACS: 01.40.Fk, 01.40.gf, 01.40.Ha

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Es común considerar a la Física como una materia difícil [1]. Varios estudios indican que los alumnos salen de los cursos de Física en condiciones muy similares a las que tenían cuando llegaron [1, 2]. Por ejemplo, es frecuente que al finalizar los cursos cometan errores de interpretación en el estudio de algunos fenómenos físicos y que se basen únicamente en el uso de fórmulas para resolver los problemas [1, 2, 3]. Lo relevante de estos “errores” es que no se deben a simples olvidos o a equivocaciones momentáneas, sino que se expresan como ideas muy seguras y persistentes. Además, dichas ideas afectan de manera similar a alumnos de distintos países y niveles educativos [4]. Por lo anterior, se puede decir que un problema importante por resolver es ¿cómo reducir la brecha entre lo que se enseña y lo que los alumnos realmente aprenden en un curso de Física? [2, 5].

La investigación en física educativa puede mostrar que las principales dificultades en la enseñanza de esta ciencia son:

- Lo abstracto del material empleado en la enseñanza [1, 2, 5, 6, 7, 8],
- El grado de precisión lógica y tipos de razonamiento que necesitan los estudiantes para resolver los problemas [1, 9, 10, 11, 12],
- La falta de habilidades matemáticas en los alumnos [1, 7],
- Que los estudiantes poseen ideas previas que interfieren con el aprendizaje de los conceptos científicos y los principios básicos de la física [1, 7, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Se ha encontrado que desarrollar estrategias instruccionales como el uso de tutoriales [2, 5], de técnicas didácticas para promover la comprensión de los procesos físicos [1, 5, 7] y entrenar habilidades [5], incrementan la cantidad de problemas resueltos de manera correcta al finalizar un curso de física en relación a alumnos con

instrucción tradicional. Sin embargo, al analizar detalladamente las respuestas correctas de los alumnos (e.g., usando entrevistas) se muestra que un porcentaje de ellos siguen teniendo conceptos erróneos o inconsistentes [2]. Incluso existe evidencia de una grave y general incompreensión de los conceptos más fundamentales y que se enseñan de manera reiterada. Por ejemplo, ante la pregunta: “una piedra cae desde cierta altura en un segundo ¿cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa?”, se ha encontrado un porcentaje muy alto de alumnos que al final de su educación secundaria (e incluso universitaria) consideran que una masa doble se traduce en la mitad del tiempo de caída. Estos resultados son consistentes aún después de que los alumnos han resuelto decenas de ejercicios numéricos sobre caída libre e incluso después de haber hecho algún estudio experimental [4].

El hecho de haber aprobado cursos de Física o el de haber obtenido un título universitario en el área no son una garantía de que se tiene una apropiada comprensión y manejo de los principios y conceptos fundamentales de la Física [1, 18]. Algunos estudios han mostrado que las ideas previas no son exclusivas de los estudiantes, sino que también las pueden tener los docentes [19, 20]. Este hecho es realmente preocupante debido a que son los docentes los encargados de encaminar a los alumnos hacia la comprensión de los principios y conceptos fundamentales de la Física.

La evidencia anterior, nos muestra que las ideas previas son muy difíciles de cambiar, que en ocasiones sobreviven largos años de instrucción científica [12, 13, 14] y que son independientes del nivel de enseñanza, de lo brillante que resulte el alumno y de su procedencia [21]. Por lo tanto, es importante profundizar en los fundamentos del proceso de enseñanza–aprendizaje de la Física. Es necesario desarrollar estrategias de aprendizaje que tomen en cuenta las ideas previas y las concepciones erróneas que se presentan en los diferentes temas de los cursos [20] con la intención de modificarlos [1, 22, 23, 24].

Varios estudios muestran que los profesores que conocen las ideas previas de sus alumnos mejoran el aprendizaje de ellos [25].

II. SELECCIÓN DEL TÉRMINO

Existe una diversidad de términos con los que actualmente se le denomina a las concepciones que tienen las personas en torno a los conceptos científicos [26, 27], por lo que es importante aclarar el término que se utilizará para denominarlas en el presente trabajo. Los diferentes términos usados dependen de las posiciones que los investigadores tienen en torno a la construcción del conocimiento y a su valoración del conocimiento científico y del aprendizaje. De Posada [28] hace una recopilación de las denominaciones que se han empleado a lo largo de la historia y señala que el cambio terminológico que se aprecia no es trivial, además de que refleja el cambio de mentalidad que se ha producido sobre la naturaleza de las ideas alternativas y su papel en el aprendizaje.

Entre los términos más comunes para referirse a las concepciones que tienen las personas en torno a los conceptos científicos están: “errores conceptuales”, “preconceptos”, “concepciones espontáneas”, “teorías implícitas”, “teorías en acción”, “ideas alternativas”, “ideas previas” y “concepciones alternativas”. Se han realizado diversos análisis y propuestas para intentar acordar un sólo término. Por ejemplo, Wandersee, Novak y Mintzes (citado en [29, 30]) se adhieren al término “concepciones alternativas”, considerándolo el más adecuado debido a que toma en cuenta las ideas de los alumnos como concepciones personales que tienen significado y utilidad para interpretar cierta fenomenología y, porque no implica una denominación en sentido negativo, esto es, considerarlas como un error de comprensión o un conocimiento incompleto, denotación que está implícita en el término “error conceptual” (*misconception*).

Por otra parte, el término “ideas previas” se refiere principalmente a una concepción que no ha sido transformada por la acción escolar, además de que comparte con el término “concepciones alternativas” la idea de que se tienen concepciones que sirven para interpretar los fenómenos y que no implica una denominación peyorativa. Sin embargo, en el presente trabajo se prefiere el término “ideas previas” debido a que evita las siguientes ambigüedades que ocurren con el término de “concepciones alternativas” [29, 30]:

a) “Concepciones alternativas” implica la existencia de una idea que le permite a un sujeto, interpretar un proceso o fenómeno y que cuenta, al menos, con otra idea alterna entre las que elige la que considera la mejor explicación. Esto no es lo que usualmente ocurre por lo que, un término que no denote esta dualidad, resulta más adecuado.

b) El término no precisa porqué las concepciones de los estudiantes pueden considerarse *alternativas* en un contexto restringido, esto es, aplicables sólo a ciertos fenómenos, mientras que, las concepciones científicas correspondientes son más generales, es decir, abarcan clases de fenómenos.

Por lo anterior, en el presente trabajo se usará el término de “ideas previas”.

III. ¿QUÉ SON LAS IDEAS PREVIAS?

Las ideas previas son construcciones que las personas elaboran para responder a su necesidad de interpretar fenómenos naturales, ya sea porque dicha interpretación es necesaria para la vida cotidiana, para solucionar un problema práctico o porque es requerida para mostrar cierta capacidad de comprensión que es solicitada a un sujeto por otro (e.g., por un profesor). De esta manera, la construcción de las ideas previas se encuentra relacionada con la interpretación de fenómenos naturales y conceptos científicos, para brindar explicaciones, descripciones y predicciones [29, 30]. La mayoría de los autores coinciden en considerar a las ideas previas como el fruto de las experiencias cotidianas, tanto físicas como sociales [4]. Por otro lado, la construcción de las ideas previas está

asociada a explicaciones causales [31] y a la construcción de esquemas relacionales. Sin embargo, ninguno de los argumentos mencionados da cuenta de la manera en la que las personas construyen las ideas previas, explicación que está ligada a poder explicar, a su vez, cómo se genera el conocimiento en los sujetos [29].

Según Pesa y Cudmani [32], las ideas previas se construyen sobre la base de criterios, modos de razonar, reglas heurísticas, propósitos y valoraciones, que, si bien suelen ser muy efectivas para enfrentar las exigencias de la vida cotidiana, difieren sustancialmente de la precisión, coherencia, objetividad y sistematicidad del conocimiento científico [12] y actúan como verdaderos obstáculos epistemológicos para la comprensión de ciertos contenidos de las ciencias [33].

Las ideas previas no son algo accidental o coyuntural sino que tienen una naturaleza estructural sistemática que es el resultado de un sistema cognitivo que pretende dar un sentido al mundo definido no sólo por las relaciones entre objetos físicos, sino también por las relaciones sociales y culturales que se establecen en torno a esos objetos [24].

En ocasiones, las ideas previas se refieren a conceptos incompletos o incompatibles con las teorías científicas (“conceptos erróneos”) [1, 7, 23]. Es importante mencionar que estas ideas previas no son errores arbitrarios o triviales. Los conceptos erróneos más comunes que tienen las personas son muy similares a los que tenían los intelectuales en los tiempos pre-Aristotelianos [9] o pre-Galileanos [13], aunque con una lógica menos elaborada y consistente. También hay ideas previas que se deben a malas interpretaciones del lenguaje [34], a diversos factores culturales [35, 36] o que son dependientes del contexto [37, 38]. El problema con las ideas previas es que suelen interferir con la comprensión de principios básicos de la Física que requieren de un razonamiento que cuestione la lógica natural derivada de la percepción [15, 24].

Algunas de las principales características de las ideas previas son [29, 30, 39]:

- Se encuentran presentes de manera semejante en diversas edades, género y culturas.
- Son de carácter implícito, esto es, en la mayoría de los casos las personas no son conscientes de sus ideas y explicaciones.
- Por lo general, se encuentran indiferenciadas de otros conceptos por lo que presentan confusiones cuando son aplicadas a situaciones específicas.
- La mayoría son elaboradas a partir de un razonamiento causal directo (el cambio en un efecto es directamente proporcional al cambio en su causa).
- Las ideas previas en una misma persona pueden ser contradictorias cuando se aplican a contextos diferentes.
- Son persistentes, es decir, no se modifican fácilmente por medio de la enseñanza tradicional de la ciencia, incluso cuando la instrucción es reiterada.
- Guardan cierta semejanza con ideas que se han presentado en la historia de la ciencia.
- Se originan a partir de las experiencias de las personas con relación a fenómenos cotidianos, a la

correspondencia de interpretación con sus pares y a la enseñanza que se ha recibido en la escuela.

- Interfieren con la instrucción científica.
- Parecen dotadas de cierta coherencia interna.

Diversos autores han clasificado a las ideas previas en diferentes tipos. Por ejemplo Flores y Gallegos [37] proponen que las ideas previas pueden clasificarse en constrictores (los que regulan la interpretación de los fenómenos) y fenomenológicos (los que establecen las condiciones iniciales y las reglas de relación entre los conceptos). Aunque no existe una clasificación aceptada universalmente, se puede concluir que los no todas las ideas previas cumplen con la misma función en relación a la representación e interpretación de los fenómenos naturales y los conceptos científicos [29, 30].

A. Diferencias entre las ideas previas y los conceptos científicos

Las ideas previas y el conocimiento científico no se distinguen necesariamente por su contenido, sino por su epistemología constructiva, por el tipo de escenario sociocultural en el que se construyen y por sus procesos de construcción [40]. Pozo y Gómez [24] mencionan que una diferencia fundamental entre las ideas previas y los conceptos científicos es su estructura, la cual se puede analizar en relación a varios aspectos:

a) Causalidad lineal vs. la interacción de sistemas: en las ideas previas la relación causa-efecto es lineal, mientras que en los conceptos científicos se encuentra una causalidad compleja en la que se hace evidente la interacción entre sistemas.

b) Cambio y transformación vs. conservación y equilibrio: las ideas previas tienden a centrarse en el cambio más que en los estados, es decir, las personas suelen poner más atención en lo que se transforma, ignorando lo que se conserva. Sin embargo, la mayor parte de los conceptos científicos implican una conservación. Uno de los logros más sustantivos del conocimiento científico es el de comprender la naturaleza como un sistema en equilibrio.

c) Relaciones cualitativas vs. esquemas de cuantificación: en la vida cotidiana, tendemos a establecer relaciones cualitativas entre los hechos que escasamente somos capaces de cuantificar, sin embargo, la ciencia se caracteriza por el uso de operaciones cuantitativas precisas que determinan no sólo si existe una relación entre los hechos sino también en qué cantidad existe. Los conceptos científicos implican *proporción* ya que suponen relaciones entre conceptos y *probabilidad* debido a que numerosas concepciones científicas llevan implícita la noción de “azar” y la correlación supone el análisis de datos estadísticos que permiten leer el comportamiento de las variables bajo análisis.

Una parte considerable de la investigación que se realiza en el área de Física Educativa se ha dedicado a estudiar cuáles son las ideas previas que tienen los estudiantes acerca de diversos temas como: mecánica clásica, propiedades de la materia, mecánica de fluidos, calor, temperatura, termodinámica, óptica, electromagnetismo, ondas, sonido, etc. [1, 6, 11, 12, 13,

16, 23, 41]. Estas investigaciones han arrojado resultados interesantes como el hecho de que los alumnos creen que el movimiento implica una fuerza y que dicha fuerza se consume [1, 2, 8, 23], o que los objetos más pesados caen más rápido que los ligeros [24] etc. Si se hace un análisis de dichas ideas previas se puede encontrar que casi siempre son el resultado de inferencias causales (como semejanza entre causa-efecto y contigüidad espacial y temporal, etc.).

Aunque el interés por el estudio de las ideas previas es reciente, existen precedentes de que desde hace casi más de 70 años ya se le ponía atención a este fenómeno. Por ejemplo, Bachelard (citado en [4]) mencionaba que siempre que se conoce se hace contra un “conocimiento anterior”. Piaget en 1971 (citado en [4]) plantea el rastreo del origen psicológico de las nociones hasta sus estadios precientíficos. Por otra parte, Vigotsky (citado en [4]) habla de que existe una *prehistoria del aprendizaje*. Y, por ejemplo, Ausubel (citado en [4]) llega a afirmar:

“si yo tuviera que reducir toda la psicología educativa a un sólo principio, enunciaría este: averigüese lo que el alumno ya sabe y enséñese consecuentemente”.

III. ¿CÓMO SE FORMAN LAS IDEAS PREVIAS?

Existen principalmente 2 posturas acerca de la formación de los conceptos. La primera, que es en la que se basa la enseñanza tradicional, sugiere que los conceptos no tienen un desarrollo interno, sino que son absorbidos a través de un proceso de entendimiento y asimilación. Sin embargo, varias investigaciones han mostrado que esto no puede ser cierto pues la formación de un concepto es más que la suma de determinados enlaces asociativos formados en la memoria [42]. La segunda postura sugiere que tanto los conceptos científicos como los espontáneos (así llama Piaget a las ideas previas) sí tienen un desarrollo, ya que no se adquieren simplemente por medio de la memoria, sino que evolucionan en la mente de la persona. Vygotsky [42] menciona que el desarrollo de los conceptos espontáneos y no espontáneos se influyen constantemente, siendo parte de un proceso único: el de la evolución de la formación del concepto. Dicha evolución se ve afectada por variaciones externas y condiciones internas.

Vygotsky [42] menciona que los conceptos científicos y los espontáneos (ideas previas) se forman y se desarrollan bajo condiciones internas y externas totalmente diferentes. El desarrollo de los conceptos depende de si se originan en la instrucción escolar o en la experiencia personal del niño, además de que los motivos que predisponen al niño a formar los dos tipos de conceptos no son los mismos. Cuando se le enseña a un niño el conocimiento sistemático, generalmente se le enseñan muchas cosas que no puede ver o experimentar directamente. Los conceptos científicos y espontáneos difieren en su relación con la experiencia del niño y en la actitud del niño hacia sus objetos; por esta razón Vygotsky (1964) sugiere que los dos tipos de conceptos siguen

diferentes caminos de desarrollo desde sus comienzos hasta su forma definitiva.

A cualquier edad, un concepto formulado en una palabra (e.g., velocidad, fuerza, altura, etc.) representa un acto de generalización del tipo más primitivo y a medida que se desarrolla la inteligencia del niño, al concepto se le reemplaza por generalizaciones de un tipo más avanzado: un proceso que conduce finalmente a la formación de verdaderos conceptos. El desarrollo de los conceptos presupone a su vez la evolución de muchas funciones intelectuales como la atención deliberada, la memoria lógica, la abstracción y la habilidad para comparar y diferenciar. Estos procesos psicológicos no pueden ser denominados a través del aprendizaje aislado [42].

El niño que se encuentra en edad de ingresar a la escuela posee, de una forma más o menos madura, las funciones que deberá aprender a controlar conscientemente. Pero las ideas previas apenas comienzan a desarrollarse y el niño no puede tomar conciencia¹ de dichos conceptos y hacer uso adecuado de ellos al mismo tiempo [42]. Para que esto sea posible, la conciencia no sólo tiene que tomar posesión de sus funciones aisladas (atención, memoria, abstracción, etc.), sino también debe crearlas. La etapa de las funciones indiferenciadas en la infancia es conducida por la diferenciación y el desarrollo de la percepción en la primera infancia y el desarrollo de la memoria en el preescolar. Para que ocurra este desarrollo, también participa la atención, la cual es un correlato de la estructuración de lo que es percibido y recordado.

Los estudios de Piaget demostraron que la introspección comienza a desarrollarse sólo durante los años escolares. La percepción en términos de significado, implica siempre un grado de generalización. En consecuencia, la transición hacia la propia observación verbalizada denota el comienzo de un proceso de generalización de las formas internas de actividad. El cambio hacia un nuevo tipo de percepción interna significa también un cambio hacia un tipo superior de actividad interior, puesto que un modo nuevo de ver las cosas abre nuevas posibilidades para manejarlas. Al hacernos conscientes de nuestras propias operaciones y considerar a cada una como un proceso de un determinado tipo (tal como el recuerdo o la imaginación) nos conduce a poder dominarlas [42].

Vygotsky [42] menciona que la instrucción escolar induce el tipo generalizador de la percepción y juega así un papel decisivo al hacer que el niño tenga conciencia de su propio proceso mental. Los conceptos científicos, con su jerarquía sistemática de interrelaciones, son el medio dentro del cual se desarrollan las destrezas, para ser transferidas más tarde a otros conceptos y a otras áreas del pensamiento. Vygotsky dice que la conciencia reflexiva llega al niño a través de los portales de los conceptos científicos.

¹ Vygotsky [42] usa el término conciencia para referirse a “tener conocimiento de la actividad de la mente”. Por ejemplo, si ante la pregunta “¿conoces tú nombre?” un niño responde con su nombre, entonces carece de conocimiento reflexivo pues conoce su nombre pero no es consciente de conocerlo.

Cuando un niño opera con conceptos espontáneos (ideas previas) no tiene conciencia de ellos, puesto que su atención está siempre centrada en el objeto al cual se refiere el concepto, nunca en el acto de pensamiento mismo [42]. Un concepto sólo puede estar ligado a un control consciente y deliberado cuando es parte de un sistema. Si conciencia significa generalización, la generalización a su vez significa la formación de un concepto dado como un caso particular. Un concepto sobreordenado implica la existencia de una serie de conceptos subordinados, y presupone también una jerarquía de conceptos de niveles de generalidad. De este modo, el concepto dado se ubica dentro de un sistema de relaciones de generalidad. Un ejemplo de la función de los grados variables de generalidad en el surgimiento de un sistema es cuando un niño aprende la palabra *flor* y poco tiempo después aprende la palabra *rosa*; durante un lapso prolongado, para el niño el concepto *flor* y el de *rosa* son intercambiables y se yuxtaponen (para el niño el concepto *flor* no incluye ni subordina al concepto *rosa*). Cuando la expresión *flor* se vuelve generalizada, la relación de *flor* y *rosa*, así como la de *flor* con otros conceptos subordinados también cambia en la mente infantil, y comienza a formarse un sistema [42].

Vygotsky [42] propone que los conceptos científicos y los espontáneos (ideas previas) se desarrollan en dirección inversa: comienzan apartados y avanzan hasta encontrarse. El niño toma conciencia de sus conceptos espontáneos relativamente tarde, la aptitud para definirlos con palabras, para operar con ellos según su deseo, surge mucho tiempo después de haber adquirido los conceptos. Posee el concepto (conoce el objeto al cual se refiere), pero no es conciente de su propio acto de pensamiento. El desarrollo de un concepto científico, por otra parte, comienza generalmente con su definición verbal y el uso de operaciones no espontáneas, trabajando con el concepto mismo, que comienza su vida en la mente infantil en un nivel que sus conceptos espontáneos alcanzan solamente más tarde.

El estudio de los conceptos infantiles en cada nivel de edad muestra que el grado de generalidad es la variable psicológica básica de acuerdo a la cual deben ser significativamente ordenados. Si cada concepto es una generalización, entonces la relación entre conceptos es una relación de generalidad. En un determinado nivel de desarrollo, el niño es incapaz de trasladarse “verticalmente” del significado de una palabra al de otra, o sea, de entender la relación de generalidad. Todos sus conceptos se encuentran en un nivel, referidos directamente a objetos, y se delimitan unos a los otros del mismo modo en que se delimitan a sí mismos [42].

Los conceptos nuevos y superiores transforman a su vez el significado de los inferiores. Por ejemplo, mientras el niño opera con el sistema decimal sin tener conciencia de él como tal, no ha dominado el sistema sino que se encuentra, por el contrario, sujeto a él. Pero cuando puede considerarlo como una instancia particular de un concepto más amplio de una escala de numeración, puede operar deliberadamente con este o cualquier otro sistema numérico [42].

La **ausencia de un sistema** es la diferencia psicológica fundamental que distingue a los conceptos científicos de los espontáneos (ideas previas). Por ejemplo, cuando el niño se ve perturbado por una contradicción puede considerar las afirmaciones contradictorias a la luz de algún principio general, dentro de un sistema. Pero cuando un niño dice, por ejemplo, que un objeto se ha disuelto en el agua porque era muy pequeño y de otro que se ha deshecho porque era grande, entonces solamente está sujeto a afirmaciones empíricas de los hechos que siguen la lógica de las percepciones, por lo que podemos decir que en su mente no se ha producido ninguna generalización de este tipo [42].

IV. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA CONOCER LAS IDEAS PREVIAS SOBRE EL CONCEPTO DE FUERZA

Las investigaciones sobre la influencia de las ideas previas en el aprendizaje de conceptos científicos también han demostrado que las técnicas de enseñanza son más eficaces cuando se enfocan en cambiar o eliminar los conceptos erróneos [1, 23, 43]. Por esta razón, es importante desarrollar técnicas e instrumentos para conocer y analizar las ideas previas que tienen los estudiantes [23, 43]. Algunas de las técnicas más empleadas en la investigación de las Ideas Previas están:

- Entrevistas
- Cuestionarios
- Evaluación de Reglas
- Grabación de Audio
- Tests

A. Entrevistas

Esta es una de las técnicas más empleadas. Las entrevistas casi siempre se usan como complemento de otras técnicas como los Cuestionarios y los Tests. Las entrevistas se realizan de forma individual y generalmente las preguntas se basan en las respuestas que previamente dio el alumno ante un Cuestionario o Test, por lo tanto, el propósito de las entrevistas es el de explorar a fondo las ideas previas de los alumnos. La ventaja de las entrevistas es que permiten indagar un mismo concepto en diferentes contextos, pedirle al alumno que explique y justifique sus respuestas, etc. La desventaja es que llevan mucho tiempo y que el entrevistador puede perderse entre las preguntas u omitir u olvidar algunos datos importantes.

B. Cuestionarios

Un cuestionario es una manera estructurada de obtener información acerca de las ideas previas, a través las respuestas que dan los alumnos a una serie de preguntas. Los cuestionarios pueden contener preguntas abiertas o cerradas. Las preguntas cerradas pueden ser de varios tipos como: de opción múltiple, verdadero y falso, sí o no, etc. Después de aplicar un cuestionario, el profesor debe recoger la muestra de respuestas y puede llevar a cabo varias actividades como pedir al grupo que explique sus respuestas, entrevistar personalmente a los alumnos para

profundiar en sus respuestas (e.g., [23]), analizar las respuestas, basarse en ellas para preparar sus clases, etc.

Por ejemplo, para conocer el concepto de “reposo”, Minstrell [44] usó un cuestionario de opción múltiple que contenía respuestas relacionadas con diversas opiniones corrientes (sentido común o ideas previas) acerca del fenómeno estudiado.

C. Evaluación de Reglas

Este método fue desarrollado por Siegler a finales de los años 70's [41] para investigar el conocimiento estratégico de las personas al determinar cómo enfrentan determinadas tareas. El término regla es una etiqueta general para un patrón o estrategia de razonamiento definitivo. El método de evaluación de reglas (*rule assessment*) requiere que se haga análisis de tareas para: (1) identificar los tipos de problemas y (2) determinar las estrategias –correctas o incorrectas- que pueden aplicarse a las tareas (problemas) en los que trabajan los alumnos.

Maloney [41] usó este método para investigar las concepciones que tienen los alumnos sobre la Tercera Ley de Newton.

D. Grabación de Audio

Las grabaciones de audio pueden hacerse de las Entrevistas o de las discusiones en clase cuando se enseñan los conceptos. Por ejemplo, Minstrell [44] grabó en un cassette las discusiones en clase que tuvieron los alumnos acerca del estado de reposo de los cuerpos para analizarlas posteriormente.

E. Tests

Entre los Test más usados para conocer el concepto de fuerza están [24, 43]:

- “Mechanics Baseline Test” (MBT), elaborado por Hestenes y Wells en 1992 [45],
- “Force Concept Inventory” (FCI) diseñado por Hestenes, Wells y Swackhamer en 1992 [46],
- “Force and Motion Conceptual Evaluation” elaborado por Thornton y Sokoloff en 1998.

Estos Tests han sido de gran utilidad para determinar cuáles son las ideas previas de los estudiantes que hay que cambiar, además de servir como una medida de la comprensión de los conceptos científicos si se aplican antes y después de un curso de Física. A continuación, se describen brevemente los instrumentos mencionados:

F. Mechanics Baseline Test

Esta Prueba fue diseñada con la intención de conocer la manera en la que los estudiantes comprenden los conceptos más básicos sobre mecánica. La utilidad de la Prueba reside en servir como una “Línea Base” (de ahí su nombre) para evaluar y comparar la efectividad de la instrucción en mecánica en todos los niveles [46].

Las 26 preguntas de la Prueba fueron diseñadas para ser significativas para estudiantes que no han recibido instrucción formal en mecánica. La Prueba contiene preguntas acerca de tres dimensiones:

1. Cinemática.- involucra los temas de Movimiento Lineal (aceleración constante, promedio y desplazamiento

integrado) y de Movimiento Curvilíneo (aceleración tangencial y normal y $a=v^2/r$).

2. Principios Generales.- contiene preguntas sobre la Primera, Segunda y Tercera Ley de Newton, el Principio de Superposición, Trabajo y Energía, Conservación de la Energía, Impulso y Momentum y Conservación del Momentum.

3. Fuerzas Específicas.- explora los temas de caída libre y el de fricción.

Esta Prueba asemeja una prueba cuantitativa convencional de solución de problemas, sin embargo su principal intención es evaluar la comprensión cualitativa de los conceptos. Las preguntas son de opción múltiple; entre los distractores se encuentran errores típicos de los estudiantes (no alternativas de sentido común) que se ha encontrado llevan a una comprensión deficiente de los conceptos. Ninguna pregunta puede ser resuelta con la simple aplicación de una fórmula.

Hestenes y Wells [45] pusieron a prueba la efectividad de este instrumento al compararlo con el FCI y encontraron una correlación de 0.68 entre estas dos pruebas, lo que sugiere que un puntaje alto en el FCI es una condición necesaria pero no suficiente para obtener una puntuación alta en el MBT, ya que el MBT tiene que ver un poco más con la habilidad para resolver problemas (más que sólo la comprensión de los conceptos como en el FCI). También encontraron que sólo los alumnos que obtienen una puntuación por arriba del 80% en el FCI podrán tener una puntuación superior al 80% en el MBT.

G. Force Concept Inventory

Este Inventario fue diseñado con la intención de explorar el concepto que tienen los alumnos sobre la Fuerza Newtoniana. El antecedente de esta prueba es el MBT y Hestenes y Halloun [47] sugieren que más que una prueba nueva, el FCI es una versión mejorada del MBT. Hestenes, Wells y Swackhamer elaboraron este instrumento en 1992 y para ello descompusieron el concepto de fuerza en 6 dimensiones conceptuales: Cinemática, Primera Ley, Segunda Ley, Tercera Ley, Principio de Superposición y Tipos de Fuerza.

El inventario contiene preguntas de opción múltiple para cada dimensión; entre las opciones se encuentra una respuesta correcta (Newtoniana) y 4 alternativas que corresponden al sentido común (no-Newtonianas). Halloun y Hestenes [47] dicen que para un Físico, las respuestas a las preguntas son muy obvias y elementales, por lo que una respuesta incorrecta se vuelve muy significativa. Cuando se aplica el FCI, principalmente a nivel de Física Introductoria, se ha encontrado que la puntuación en la Prueba invariablemente es mucho más baja a la que espera el profesor. Muchos investigadores han realizado entrevistas a los estudiantes y han encontrado que siempre una respuesta incorrecta es un indicador confiable de la deficiencia en la comprensión de los conceptos Newtonianos [47]. A continuación se explica lo que se explora en cada una de las 6 dimensiones que se manejan en el Inventario:

1. Cinemática.- explora si los alumnos tienen claro el concepto de movimiento y si lo tienen diferenciado de otros conceptos como: posición, velocidad y aceleración.

2. Primera Ley.- busca identificar si los estudiantes comprenden la Primera Ley de Newton; esto significa que no deben usar la noción pre-Galileana de “ímpetus” para explicar el movimiento de los cuerpos.
3. Segunda Ley.- distingue si los alumnos comprenden la Segunda Ley de Newton o si poseen la idea previa sobre la necesidad de la acción de una fuerza para provocar el movimiento.
4. Tercera Ley.- identifica si los estudiantes malinterpretan el término “interacción” como una lucha entre fuerzas opuestas. Explora si los alumnos comprenden la Tercera Ley de Newton o si se rigen por el principio de dominancia: “el más fuerte ejerce la mayor fuerza”; en la que el más fuerte puede ser el más grande, el de mayor masa o el más activo.
5. Principio de Superposición.- explora si los estudiantes comprenden el principio de superposición o si aplican el principio de dominancia para decir que es el conjunto de fuerzas que actúan sobre un mismo objeto y que una fuerza le gana a la otra. También busca si se confunde el término superposición con la acción de fuerzas opuestas dirigidas a un mismo objeto.
6. Tipos de Fuerza.- identifica si los alumnos tienen un concepto unitario de fuerza. Explora si los estudiantes consideran que los “obstáculos” no ejercen fuerza (sólo son obstáculos en el camino) y si la masa es un tipo de resistencia.

H. Force and Motion Conceptual Evaluation

El FMCE se diseñó para explorar los conceptos de fuerza, velocidad y aceleración. Esta prueba consta de 47 preguntas de opción múltiple (cada una con 5-9 opciones). Algunas de las preguntas emplean representaciones gráficas y cada problema está redactado a manera de una pequeña historia usando lenguaje coloquial. La redacción de los problemas no involucra sistemas de coordenadas ni describen de manera explícita la forma en la que las fuerzas actúan.

Ramlo [43] hizo la evaluación de este instrumento calculando su confiabilidad y validez estructural y encontró que el FMCE es una prueba válida y confiable para medir los conceptos de fuerza y movimiento.

V. IDEAS PREVIAS SOBRE EL CONCEPTO DE FUERZA

Como se mencionó en la sección anterior, existe una gran diversidad de ideas previas sobre los conceptos de la Física. Por ejemplo, que la corriente se “gasta” en una bombilla [48], que el calor está contenido en los cuerpos y se puede “almacenar” como un fluido [49], que todo movimiento implica una fuerza [50], etc. En el presente trabajo se analizan las ideas previas acerca del concepto de fuerza debido a que los cursos Introdutorios de Física inician con el tema de Mecánica y si un alumno no ha comprendido el principio de fuerza, toda la mecánica carece de sentido.

En la vida cotidiana, el término “fuerza” se usa en una gran variedad de contextos, por ejemplo: fuerza pública,

fuerza económica, estoy fuerte, etc., generalmente usando asociaciones vagas y ambiguas [23]. Por lo tanto, es de esperarse que los alumnos tiendan a usar el término *fuerza* libremente para referirse a una gran variedad de conceptos. Por ejemplo, Halloun y Hestenes [23] encontraron que los alumnos usan indiscriminadamente los siguientes términos: potencia, fuerza, aceleración, velocidad, momentum, inercia y energía.

A continuación se presentan algunas de las Ideas Previas relacionadas con el concepto de fuerza que se han encontrado en diversos artículos:

A. Todo movimiento tiene una causa (la fuerza o la gravedad)

Halloun y Hestenes [23] trabajaron con un grupo de 478 estudiantes de nivel Universitario a los que se les aplicó el “*Mechanics Diagnostic Test*” antes (pre) y después de su curso (post) de Física Introdutoria. Halloun y Hestenes encontraron que el 65% de los alumnos en el pretest y el 44% en el postest, sostuvieron la idea de que “*todo movimiento tiene una causa*”. Un mes después del estudio, los autores entrevistaron a 22 estudiantes para explorar más a fondo sus “conceptos de sentido común” (ideas previas) sobre el concepto fuerza y de movimiento basados en sus respuestas en el Test. Los alumnos entrevistados mencionaron que el *movimiento* puede:

- *Iniciar* ya sea por una fuerza aplicada al objeto o por la gravedad (que es una tendencia intrínseca a caer).
 - *Mantenerse* por la acción continua de una fuerza o de la gravedad, o por una fuerza interna del objeto (*ímpetus*).
 - *Oponerse* por la resistencia intrínseca del objeto (peso o masa), por la resistencia del medio que rodea al objeto o por los obstáculos que se encuentra en el camino.
- Algunos de los alumnos entrevistados mencionaron que una fuerza es: “*la que inicia el movimiento*”, “*la que cambia la dirección del movimiento*” o la que “*no tiene nada que ver con el cambio en la velocidad, sino que sólo mantiene el movimiento*”.

Clement [1] también encontró esta idea previa en un grupo de estudiantes del Laboratorio de Mecánica Introdutoria.

B. En ausencia de fuerza, todo objeto permanece en reposo (con respecto a la Tierra).

Esta idea previa también fue encontrada por Halloun y Hestenes en 1985 en el estudio mencionado arriba. Los autores mencionan que la adopción tácita de la Tierra como el marco de referencia preferido es especialmente significativo y que puede estar basado, indudablemente, en la experiencia perceptual directa. Halloun y Hestenes mencionan que una de las maravillas del sistema perceptual humano es el hecho de que para las diversas entradas de los estímulos, crea una representación de un ambiente en reposo mientras el sujeto que observa se mueve, en lugar de que el observador siempre esté en reposo y su ambiente en movimiento [23].

C. El aire y/o la presión del aire son los responsables de que un objeto se mantenga en reposo.

Minstrell [44] trabajó con dos grupos de estudiantes de Nivel Secundaria para investigar sus ideas previas acerca

del estado de reposo de los cuerpos. Minstrell colocó un libro sobre una mesa y pidió a los alumnos que hicieran un diagrama en el que dibujaran con flechas las fuerzas que actuaban sobre el libro para mantenerlo sobre la mesa. La mayoría de los estudiantes dibujaron flechas alrededor del bloque, en dirección al mismo, e indicaron que las flechas eran la presión del aire. Otros alumnos sólo dibujaron flechas sobre el bloque en dirección hacia abajo y dijeron que las flechas representaban la presión del aire y que ésta ayudaba a la gravedad a mantener el libro sobre la mesa, por ejemplo, ante la pregunta ¿cuáles son las fuerzas que actúan sobre el libro?, un alumno dijo: “la gravedad, no hay fuerza en la mesa y la presión del aire que empuja igual por todos lados, excepto que no creo que empuje igual por abajo” (pág. 12, [44]). Un grupo más pequeño de estudiantes (aproximadamente el 15%), dibujaron y mencionaron que sólo era la presión del aire la responsable de que el libro se mantuviera sobre la mesa; por ejemplo, un alumno mencionó: “Si se quitara el aire, el libro se iría a la deriva” (pág. 10, [44]). La minoría de los estudiantes respondieron que lo que mantendría al libro en su lugar era el viento o las corrientes de viento que actuaban a los lados del mismo.

D. Cuando un objeto se encuentra sobre una superficie, ésta lo único que hace es sostener el objeto, evitando así que éste se mueva.

Halloun y Hestenes [23], mediante las entrevistas que realizaron a los estudiantes encontraron que muchos de ellos creen que los objetos inanimados pueden servir como barreras para detener o redirigir el movimiento, pero no como agentes de una fuerza. Por ejemplo, un alumno explicó: “Había una fuerza mientras la detenías [la pelota] en tu mano... [pero cuando la pelota se encuentra sobre la mesa] no hay una fuerza en la pelota... esto es distinto. La pelota quiere ir hacia abajo, pero la mesa sólo la está sosteniendo... evitando que se mueva.” (pág. 1059, [23]).

Minstrell ([44] investigando el concepto de “reposo” pidió a estudiantes de Secundaria que dijeran las fuerzas que actúan sobre un libro para que se mantenga sobre una mesa. La mitad de los estudiantes dijeron que la gravedad ejerce una fuerza vertical y que la mesa “sólo se encuentra en su camino”. Algunos alumnos mencionaron que no es necesario que la mesa empuje hacia arriba y otros que la mesa no es capaz de empujar hacia arriba. Por ejemplo, un alumno dijo: “[...] la mesa está ahí, evitando que [el libro] sea aspirado [por la gravedad], pero eso no es una fuerza. Debido a que la mesa es un objeto sólido. Ahora... las moléculas de la mesa no van a abrirse y dejar que el objeto las atraviese... Oh!! Eso significa que no hay una fuerza que actúa entre la mesa y el objeto pero sí hay una fuerza que mantiene juntas a las moléculas de la mesa para evitar que el objeto la atraviese...” (pág. 12, [44]).

E. Los obstáculos pueden redireccionar o detener el movimiento, pero ellos no pueden ser agentes que apliquen fuerzas.

Siguiendo con la idea previa mencionada arriba, Halloun y Hestenes [23] encontraron que muchos alumnos argumentan que la acción o resistencia del un medio no es una fuerza, ya que *no inicia ni sostiene* un movimiento.

F. Los objetos para caer no requieren fuerza, ya que ellos siempre quieren ir hacia abajo.

El mismo estudiante entrevistado sobre la idea previa de que los objetos inanimados sólo sostienen a los objetos dijo que no se necesita una fuerza para que los objetos caigan, ya que ellos “siempre quieren ir hacia abajo”. El estudiante explicó: “no hay fuerza en una pelota [que está cayendo]... hay una fuerza mientras la sostienes, pero en cuanto la sueltas, ya no hay fuerza en la pelota, por lo que es libre de caer... la pelota quiere ir hacia abajo... entonces cuando uno la deja ir, regresa al piso en donde está la gravedad” (pág. 1059, [23]).

A partir de esta idea previa, se encuentra que los alumnos creen que la *gravedad* es la tendencia a caer de los objetos. Por lo que no consideran que la gravedad sea una fuerza. Esta concepción acerca de por qué las cosas van hacia abajo es tan antigua como Aristóteles, cuyas explicaciones involucraban la tendencia de los objetos, hechos de materiales terrestres, para ir hacia abajo a su lugar de reposo natural sobre la superficie de la Tierra [44]. Al igual que Halloun y Hestenes [23], Minstrell encontró que los alumnos de Secundaria creen que los objetos, como una mesa, sólo evitan que los objetos caigan. Cuando Minstrell puso la situación de que un libro ya se encontraba sobre el suelo, un alumno dijo que la situación era muy diferente de si se encontrara sobre una mesa: “... sobre el suelo, la gravedad no estaría en el libro, debido a que [el libro] ya se encuentra al final de su camino hacia el piso” (pág. 11, [44]). Otro estudiante dijo: “[...] la gravedad lleva al objeto hacia la tierra, por lo tanto, si ya se encuentra en contacto con la tierra; entonces ya no puede estar más cerca” (pág. 11, [44]).

G. En el instante en que se suelta una pelota, sobre ella no actúa fuerza alguna.

Halloun y Hestenes [23] encontraron que muchos estudiantes creen que el efecto de una fuerza no aparece en el instante en que se aplica. Por ejemplo, uno de los estudiantes entrevistados dijo: “la fuerza no actúa hasta que... el objeto alcanza su velocidad inicial” (pág. 1059, [23]).

H. Una fuerza constante produce una velocidad constante, expresada como $F = mv$

Después de la primera aplicación del *Mechanics Diagnostic Test* a los 478 estudiantes Universitarios del curso de Física Introductoria, Halloun y Hestenes [23] encontraron que el 14% de los alumnos creían que una partícula a la que se le aplica fuerza constante se mueve con una velocidad constante.

I. El intervalo de tiempo necesario para recorrer una distancia específica bajo una fuerza constante es inversamente proporcional a la magnitud de la fuerza

A partir de la muestra de estudiantes que creen que una fuerza constante produce una velocidad constante, el 47% de los alumnos creen que el intervalo de tiempo necesario para recorrer una distancia específica bajo una fuerza constante es inversamente proporcional a la magnitud de la fuerza [23].

J. Una fuerza no puede mantener un objeto acelerado indefinidamente.

Muchos estudiantes creen que el efecto de una fuerza se auto-consume o se disipa por resistencias externas. Gustone y Watts [51] cuestionaron a un grupo de alumnos acerca de lo que pasa cuando se empuja una pelota sobre una superficie y ellos mencionaron que la pelota llegaría tan lejos como fuera la fuerza de empuje y luego se iría parando a medida que la pelota usara dicha fuerza. Igualmente, al entrevistar a sus alumnos, Halloun y Hestenes (1985) se encontraron con este tipo de comentarios: “esta fuerza no puede permanecer para siempre... Nada dura por siempre”, “el cañón sólo tiene fuerza suficiente para llevarla [a la pelota] hasta esa distancia” (pág. 1059, [23]).

Halloun y Hestenes [23] encontraron que de los estudiantes que creen que una fuerza constante produce una velocidad constante, el 27% creen que una fuerza no puede mantener acelerado a un objeto indefinidamente y que el objeto alcanza una velocidad límite crítica determinada por la magnitud de la fuerza y por la masa del objeto. Algunos de los argumentos que dieron los estudiantes fueron: “Una fuerza constante acelera un cuerpo... pero sólo hasta que el cuerpo alcanza la velocidad a la que haya usado toda la potencia de la fuerza”, “el bloque X primero se acelera hasta que su velocidad es igual al empuje de Y... después continúa a esta velocidad... la velocidad máxima siempre es igual a la fuerza que se aplica”, “la gravedad jala hacia abajo [en un cuerpo en caída libre], pero hay algo que la apaga. No sé que es. No es razonable que la velocidad siga incrementando de manera indefinida”, “¿Qué no hay un límite para todo?... ¿cómo podría un objeto ir cada vez más rápido?... debe haber un límite” (pág. 1061, [23]).

K. Cuando dos o más fuerzas están en competencia, el movimiento está determinado por la fuerza más grande.

Maloney [41] y Halloun y Hestenes [23] encontraron que muchos estudiantes caracterizan la interacción entre dos objetos por un principio de dominancia que puede expresarse de dos maneras: a) la masa mayor ejerce la mayor fuerza, y más comúnmente se expresa como b) el objeto que causa movimiento sobre el otro es el que ejerce la mayor fuerza, debido a que supera la oposición del otro.

L. Una fuerza no puede mover un objeto, a menos que ésta sea mayor que el peso o la masa del objeto

Esta idea va unida a la anterior. Halloun y Hestenes [23] explican que el principio de dominancia tiene un origen natural en la experiencia, ya que, para mover un objeto pesado, uno necesita empujar más y más fuerte hasta que el empujón “supera” la resistencia, después se necesita de menos fuerza para mantener el movimiento.

VI. ¿CÓMO CAMBIAR LAS IDEAS PREVIAS?

Uno de los principales objetivos del estudio de las ideas previas es enfocarse en su transformación para lograr un mejor aprendizaje y comprensión de los conceptos

científicos. A partir de trabajos que muestran la persistencia de las ideas previas a pesar de la instrucción formal [1, 7, 12, 13, 14, 15, 16], es importante tener en cuenta que la transformación de las ideas previas no es un proceso abrupto, sino por el contrario, es un proceso lento y gradual. También es necesario reconocer que las posibles transformaciones de las ideas previas no ocurren de manera aislada, esto es, la transformación de una idea con independencia de otras. El proceso es complejo e intervienen en él diversos factores entre los que se pueden mencionar el contexto, el nivel de comprensión de los conceptos, si se trata de relaciones causales o funcionales, etc. [22, 30].

La idea de lograr un cambio conceptual, se basa en la comprensión de cómo los alumnos aprenden, para que haya un proceso de enseñanza efectivo. Por lo que el problema del cambio conceptual está asociado a dos cuestiones que en la actualidad no se han podido resolver por completo: a) la manera en la que se construye el conocimiento y b) en qué consiste el proceso de aprendizaje [52].

En torno al problema del cambio conceptual existen diversas aproximaciones que han surgido a partir de diferentes enfoques teóricos, como el epistemológico, el que tiene su origen en la visión de Piaget o basados en la psicología cognitiva [29, 30]. El hecho de adoptar un modelo de cambio conceptual, no significa que tenga que existir una única manera de establecer secuencias y estrategias de enseñanza. La ventaja de tener un modelo, es que proporcionaría lineamientos que pueden ser utilizados para el diseño de diferentes maneras de llevar a cabo la enseñanza [29]. Sin embargo, el problema radica en ¿qué modelo elegir? En la actualidad no se cuenta con un modelo o teoría que explique por completo el cambio conceptual [52].

Flores [52] hace una útil clasificación de las teorías sobre el cambio conceptual. Su clasificación distingue entre las teorías que tienen una base Epistemológica y las que se basan en las teorías Cognitivas. Dentro de esta clasificación, Flores divide a las teorías en las que explican el proceso de cambio conceptual como el reemplazo de conceptos y las que lo explican como un sistema complejo. De esta manera, el autor nos habla de que existen 4 tipos de teorías: las de base epistemológica y las de base cognitiva, cada una de ellas considerando el cambio conceptual como un reemplazo de conceptos y como un sistema complejo. Estos 4 tipos de Teorías se explican a continuación:

A. Teorías Epistemológicas-Reemplazo de Conceptos

Definen un “concepto” como una entidad unitaria cuyo significado depende de la teoría a la que pertenece. Este tipo de teorías consideran que las personas elaboran los conceptos en función de sus estructuras y de sus procesos cognitivos. El cambio conceptual consiste en un proceso complejo y progresivo mediante el cual se **reemplazan** los conceptos. Ejemplos de teorías de este tipo son las de Strike y Posner (citado en [52]) y la de Carey (1991, citado en [52]).

B. Teorías Epistemológicas–Sistema Complejo

Definen un concepto como una entidad dinámica que evoluciona en función del contexto y del establecimiento de nuevas relaciones. Consideran que las personas elaboran los conceptos en función de sus estructuras y procesos cognitivos. Describen el cambio conceptual como un proceso complejo y a largo plazo mediante el cual se **construyen** nuevos conceptos. Ejemplos de teorías de este tipo son las de Tiberghien (citado en [52]) y la de diSessa (citado en [52]).

C. Teorías Cognitivas- Reemplazo de Conceptos

Definen un concepto como una entidad unitaria definida externamente. Este tipo de teorías consideran que los conceptos se le dan a las personas, ya sea por su entorno o por otros sujetos. El cambio conceptual para ellos es un proceso simple y rápido que consiste en el reemplazo de conceptos. Ejemplos de teorías de este tipo son las de Chi *et al.* (citado en [52]) y la de Nersessian (citado en [52]).

D. Teorías Cognitivas- Sistema Complejo

Definen un concepto como una entidad compleja cuyo significado depende de un esquema cognitivo básico. Consideran que la formación de conceptos está determinada de manera externa y por las condiciones cognitivas innatas de la persona en su aspecto más básico. Describen el cambio conceptual como un proceso complejo y progresivo mediante el cual ocurre la síntesis e integración de los conceptos. Ejemplos de teorías de este tipo son las de Vosniadou (citado en [52]) y la de Pozo (citado en [52]).

A pesar de las diferentes teorías sobre el cambio conceptual, se ha encontrado que para que ocurra el cambio (ya sea por reemplazo o construcción), la nueva información debe cumplir con cuatro características [15]:

- a) Ser entendible para el alumno (para que la relacione con la información que ya posee).
- b) Ser plausible (consistente con otras teorías, con su experiencia, con sus creencias y que resuelva problemas que la idea previa no puede).
- c) Debe generar un fuerte conflicto con las predicciones basadas en la idea previa que posee.
- d) Debe ser útil para resolver problemas cotidianos (las personas juzgan los nuevos conceptos por su utilidad y no con base en si hace mejores predicciones de los fenómenos).

E. Cambio conceptual basado en la evolución de las ideas previas

A pesar de que existen diferentes teorías sobre el cambio conceptual, existe mayor evidencia para las teorías que sugieren que el cambio conceptual no ocurre de manera instantánea, sino que parece ser un cambio gradual [29, 30]. Se ha encontrado que este proceso de cambio no es aleatorio, sino que parece semejar la evolución histórica de los conceptos científicos. Al respecto, Harres (pág. 1, [19]) menciona que “[...] el “salto” de la física aristotélica a la física newtoniana no es “cuántico””. Como se mencionó anteriormente, una de las características de las ideas previas es que guardan cierta semejanza con ideas que se han presentado en la historia de la ciencia, de manera que

se asemejan a ideas pre-Aristotelianas [9] o pre-Galileanas [13].

Debido a la semejanza de las ideas previas con la evolución de los conceptos científicos, Harres [19] considera que no es suficiente catalogar las ideas previas de las personas como “ciertas” o “falsas” comparándolas con el conocimiento científico vigente. Harres le da una especial importancia a la tarea de clasificar y analizar las ideas previas de los alumnos con relación al proceso histórico de los conceptos científicos, por lo que propone que el cambio conceptual debe estar basado en una perspectiva epistemológica evolutiva del conocimiento científico y en una concepción constructivista del aprendizaje; de manera que se contraste el desarrollo histórico de los conceptos con una posible evolución de las ideas previas de los alumnos.

Harres (citado en [16]) propone una escala de 5 niveles históricos para evaluar las ideas previas de los alumnos sobre el concepto de fuerza y el movimiento de los cuerpos:

1. Aristotélico.- los alumnos consideran que el reposo es el estado natural de los cuerpos. También piensan que la fuerza del aire (“antiperístasis”) mantiene el movimiento por algún tiempo después del lanzamiento y que la gravedad y el rozamiento hacen que los cuerpos finalmente se paren.
2. Medieval Inicial.- los estudiantes creen que la fuerza impresa es la que mantiene el movimiento y que dicha fuerza disminuye naturalmente.
3. Medieval Mixta.- los alumnos consideran que la fuerza impresa disminuye por la acción del rozamiento.
4. Medieval Pre-Inercial.- los estudiantes creen que en el movimiento de los cuerpos actúan tanto la fuerza impresa como el rozamiento.
5. Inercial.- los alumnos consideran que los cuerpos no necesitan de fuerza para mantenerse en movimiento. Dicen que los cuerpos se detienen porque actúa una fuerza contraria.

Harres [19] encontró que esta escala ha sido efectiva para caracterizar el conocimiento de los estudiantes sobre fuerza y movimiento, además de que cuando se emplean técnicas para lograr el cambio conceptual se ha encontrado que las transiciones de los conceptos ocurren hacia niveles más avanzados (por ejemplo, de Aristotélico a Medieval Inicial o de Medieval Pre-inercial a Inercial).

Como soporte a la idea de que los conceptos evolucionan, en el Mechanics Diagnostic Test, las opciones de respuesta se categorizan en respuestas de tipo Aristotelianas, de Ímpetus o Newtonianas. En 1985, Halloun y Hestenes aplicaron el MDT a 478 estudiantes Universitarios y encontraron que el 18% tenía respuestas predominantemente Aristotelianas, el 65% del tipo de Impetus y el 17% restante, las tenía del tipo Newtoniano. Sin embargo, al analizar los datos encontraron que todos los estudiantes suelen usar una mezcla de conceptos de las 3 categorías y que suelen aplicar un mismo concepto de forma inconsistente cuando se plantean diferentes situaciones.

F. Problemas para el cambio conceptual

Varias investigaciones han mostrado que aún cuando se usan técnicas de enseñanza enfocadas en facilitar el cambio de ideas previas a conceptos científicos, se ha encontrado que en algunas ocasiones reaparecen las ideas previas que se creían superadas [53]. Según Posada [53], este hecho puede interpretarse como un fracaso debido a que el modelo de cambio conceptual empleado no considera una o varias de las siguientes dificultades:

- a) La continuidad existente entre la memoria semántica rutinaria y la significativa. Se debe considerar que el aprendizaje significativo se produce gradualmente a medida que se realizan nuevas relaciones sustantivas con conceptos, experiencias, hechos y objetos conocidos por el individuo. Aunque resulta casi imposible erradicar todas las ideas previas de las personas, estas concepciones constituyen rémoras que compiten, desde posiciones ventajosas, con las ideas científicas.
- b) Los alumnos deben superar los métodos de análisis simplistas (accesibilidad, contigüidad espacial y temporal, semejanza y covariación), emplear métodos más sofisticados y conocer los límites de aplicación de dichos métodos.
- c) Tomar en consideración los aspectos emotivos, debido a que los alumnos deben contar con suficiente motivación y actitud positiva para que ocurra el aprendizaje significativo. También es necesario que los alumnos tengan cierto grado de autoestima, de empatía con el profesor y de afinidades personales entre los alumnos de la clase.

VII. DISCUSIÓN

El proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física tiene un grave problema: los alumnos terminan sus cursos sin lograr una apropiada comprensión y manejo de los principios y conceptos fundamentales de la Física; esto ocurre sin importar su nivel educativo, sus hábitos de estudio, sus capacidades, habilidades, su país de origen, etc. [1, 2, 3, 4, 18, 21]. Varias investigaciones han mostrado que una de las causas de este problema es que los alumnos llegan al salón de clases con ideas previas de los fenómenos físicos que interfieren con la adquisición de los conceptos científicos y los principios básicos de la Física [1, 7, 12, 13, 14, 15, 17].

La enseñanza de la Física se puede mejorar de muchas maneras, sin embargo, gran cantidad de investigaciones han mostrado que si se quieren tener resultados favorables es imposible ignorar el papel que juegan las ideas previas en el aprendizaje de las ciencias.

Definir las ideas previas ha sido una tarea complicada a lo largo de la historia. El problema empieza con el término con el que se les denomina. Durante la presente investigación particularmente me llamó la atención el hecho de que cada autor usa un término distinto. Entre los más usados están el de “errores conceptuales” (*misconceptions*), “preconceptos” y el de “ideas alternativas”. Esto representa un problema pues en primer lugar debemos asegurarnos que todos los autores hacen referencia al mismo fenómeno y en segundo lugar muestra

que a pesar de ser un problema viejo, aún no se sabe mucho acerca de sus mecanismos de adquisición, por lo que cada investigador asigna un término dependiendo de su postura en torno a la construcción del conocimiento y del aprendizaje. El presente trabajo no tiene como objetivo demostrar cuál es el mejor término, sin embargo para fines prácticos y para evitar confusiones se decidió elegir un único término para hacer referencia al fenómeno a lo largo de todo el trabajo. La selección se hizo con base en investigaciones acerca de este problema realizadas por Pozo [50], concluyendo que un término adecuado es el de “ideas previas”. Sin embargo, la autora está consciente de que este nombre puede representar otros problemas pues el término “ideas” también es un término ambiguo en la literatura.

El problema acerca de si todos los autores se refieren al mismo fenómeno es más sencillo ya que las definiciones coinciden en las siguientes características: las ideas previas (errores conceptuales, preconceptos, ideas alternativas, etc.) se encuentran presentes de manera semejante en diversas edades, género y culturas; son muy persistentes pues no se modifican fácilmente por medio de la enseñanza tradicional; son de carácter implícito; se originan a partir de las experiencias de las personas con relación a fenómenos cotidianos, a la correspondencia de interpretación con sus pares y a la enseñanza que se ha recibido en la escuela; se encuentran indiferenciadas de otros conceptos; guardan cierta semejanza con ideas que se han presentado en la historia de la ciencia; parecen dotadas de cierta coherencia interna e interfieren con la instrucción científica [29, 30, 39].

Las características que definen a las ideas previas son a las que se debe prestar particular atención en la enseñanza de las ciencias pues nos dicen que las ideas previas las poseen todos los seres humanos y lo más importante es que no son ideas pasajeras o algo accidental, sino que son una interpretación de fenómenos naturales y conceptos científicos, que usan las personas para brindar explicaciones, descripciones y predicciones de los fenómenos. Esto es de particular importancia pues gran cantidad de investigaciones demuestran que a pesar de la instrucción formal, los estudiantes prefieren seguir usando sus propias ideas previas para explicar, describir y predecir los fenómenos. Esto no representaría un problema grave si las ideas previas fueran muy semejantes a los conceptos científicos o, como mencionan algunos autores, sólo fueran conceptos *incompletos* a los que se les puede añadir la información faltante. Sin embargo, se ha encontrado que las ideas previas no sólo son distintas a los conceptos científicos sino que difieren en características que hacen que las personas analicen, interpreten y predigan los fenómenos basados en un razonamiento distinto a lo que ocurre en la realidad. Por ejemplo, Pozo y Gómez [24] mencionan que las ideas previas generalmente sólo muestran una relación causa-efecto de tipo lineal (cuando en la naturaleza las relaciones son complejas), las ideas previas se enfocan más en los cambios de un fenómeno (mientras que los conceptos científicos se centran en la conservación y en el equilibrio) y las ideas previas se enfocan en los aspectos cualitativos de los fenómenos (mientras que los conceptos científicos se basan en los

aspectos cuantitativos).

Las diferencias entre ideas previas y conceptos científicos que mencionan Pozo y Gómez [24] nos parecen interesantes pues sugieren que las personas usamos tipos de pensamiento distintos para formarlas. Por ejemplo, para formar las ideas previas pareciera que empleamos pensamientos de tipo prelógico, concreto y autista, mientras que para formar los conceptos científicos tendemos a usar pensamientos de tipo realista, lógico y abstracto (ver [56]). Esto es importante pues sugiere que unos tipos de pensamiento resultan más “naturales” para el ser humano mientras que otros deben desarrollarse. Vygotsky [42] menciona al respecto que los niños antes de entrar al escuela no poseen todas las funciones mentales en un nivel de desarrollo que le permitan usar de manera adecuada los conceptos que ya poseen. Si lo anterior es cierto, en la enseñanza de las ciencias es importante considerar dos aspectos: a) para comprender un concepto científico la persona debe tener un nivel de desarrollo adecuado, y b) a pesar del nivel de desarrollo parece existir una tendencia a usar unos tipos de pensamiento (generalmente más simples) sobre otros. Por lo que durante la instrucción se debe favorecer el uso y desarrollo de tipos de pensamiento que ayuden a la comprensión de los conceptos científicos (por ejemplo, desarrollar los pensamientos de tipo lógico y abstracto).

Un dato que también llama la atención es el hallazgo de que muchas ideas previas tienen semejanza con las ideas que tenían los intelectuales en los tiempos pre-Aristotelianos [9] o pre-Galileanos [13], pues esto sugiere que el desarrollo de los tipos de pensamiento y de los conceptos ocurre tanto a nivel ontogenético como filogenético. Por lo que no se puede esperar que con la instrucción formal de los conceptos se de un salto automático de una idea previa a la adquisición de un concepto científico [19].

En el área de las ideas previas existe un gran hueco pues en la actualidad no hay una teoría ni un modelo, aceptado universalmente, que explique la manera en la que se forman las ideas previas ni los conceptos científicos [52]. Es más, no contamos con un modelo que explique la manera en la que aprendemos respuestas simples [54], mucho menos de la forma en la que adquirimos conocimientos. Proponer un modelo no es una tarea sencilla, es un trabajo de tipo interdisciplinario que requiere de la inversión de mucho tiempo, esfuerzo y recursos. Además de que tendría que solucionar el debate actual acerca de si existe un cambio conceptual o un reemplazo de los conceptos. A pesar de que la mayoría de las investigaciones parecen apuntar hacia un cambio gradual de los conceptos [19, 29, 30], no se tienen evidencias contundentes que rechacen de manera definitiva las teorías que proponen un reemplazo de los conceptos. Para la enseñanza de las ciencias, tener un modelo de la adquisición de conceptos sería de gran utilidad pues proporcionaría los lineamientos que deben ser utilizados para el diseño de diferentes técnicas de enseñanza [29].

El diseño de un Modelo de la forma en la que se adquieren los conceptos, como se mencionó arriba, no es un trabajo que deba resolver el especialista en Educación en Física, sino que es un trabajo interdisciplinario al que le

falta un largo trayecto por recorrer. El Físico Educativo debe resolver el problema de la comprensión adecuada de los conceptos aún en ausencia de dicho modelo. Por esta razón aunque se hace una invitación para trabajar en el diseño de modelos, se buscan soluciones prácticas al problema de la enseñanza de la Física, por lo que se discute al final del presente trabajo la importancia de lograr un aprendizaje activo en los estudiantes y el por qué este tipo de estrategia ayuda a cambiar/sustituir las ideas previas de los estudiantes logrando una comprensión adecuada de los conceptos de la Física.

A partir de lo anterior, se puede concluir que el estudio de las ideas previas que tienen los alumnos sobre conceptos de Física es útil en el sentido que ayudará a diseñar estrategias de enseñanza-aprendizaje con las que los estudiantes realmente comprendan los conceptos de la Física y que los usen de manera adecuada. El diseño de las estrategias de enseñanza-aprendizaje debe ser una labor cuidadosa y apegada a la metodología científica, debido a que existen infinidad de estrategias para enseñar Física pero muy pocas de ellas se diseñan con base en un marco teórico y contextual que justifique cada una de sus características. Por ejemplo, muchas de ellas sólo buscan motivar a los alumnos, tratar de relacionar el concepto enseñado con la vida cotidiana, diseñar tutoriales, entrenar habilidades, etc. [1, 5, 7] y obtienen buenos resultados si se comparan con el método de la enseñanza tradicional, sin embargo, si se hace un análisis más profundo de la comprensión de los conceptos por parte de los alumnos, se encuentra que un alto porcentaje de ellos no han abandonado sus ideas previas acerca del fenómeno [2]. Por esta razón, en el presente trabajo se sugiere que se debe tomar en cuenta el marco teórico sobre las ideas previas para diseñar estrategias de enseñanza-aprendizaje adecuadas.

El área de las ideas previas hace varias propuestas acerca de las características que debe tener una estrategia de enseñanza-aprendizaje efectiva, por ejemplo, que la explicación sobre el concepto a enseñar debe ser: entendible para el alumno, consistente con la experiencia de los alumnos, generar un fuerte conflicto con sus ideas previas, etc. Además, es muy importante que los profesores sepan que todos sus alumnos tienen ideas previas acerca del concepto que se les va a enseñar, así que lo más recomendable es que conozcan dichas ideas previas para que la estrategia de enseñanza sea focalizada. Hay muchas formas de conocer las ideas previas de los alumnos, para el concepto de *fuerza* se sugieren el uso de instrumentos como el *Mechanics Baseline Test* , *Force Concept Inventory* y el *Force and Motion Conceptual Evaluation* , los cuales fueron diseñados para dicho fin; también se pueden usar otras técnicas como las entrevistas o los cuestionarios. Sin embargo, averiguar las ideas previas que tiene los estudiantes requiere de la inversión de mucho tiempo, factor que casi siempre falta en la enseñanza de los cursos pues casi siempre se tienen las horas justas para cubrir el Temario. Por esta razón, y debido a que las ideas previas tienen la característica de ser muy semejantes en diferentes edades, culturas y niveles educativos, se sugiere que los profesores basen sus estrategias de enseñanza en las ideas previas que ya se han

encontrado en otras investigaciones. Por ejemplo, para el caso del concepto de *fuerza*, en la sección V del presente trabajo se enlistan las ideas previas más comunes como que los objetos permanecen en reposo a menos que una fuerza actúe sobre ellos, los objetos inanimados no ejercen fuerza, cuando un objeto cae no requiere de fuerza, cuando varias fuerzas están en competencia el movimiento está determinado por la fuerza más grande, etc.

Finalmente no se debe olvidar que la Física Educativa debe apegarse a la metodología científica, de manera que cualquier estrategia de enseñanza-aprendizaje que sea propuesta para enseñar Física debe ser *medida* para *evaluar su efectividad*. Por ejemplo, hacer una evaluación (cualitativa y/o cuantitativa) antes y después del curso, comparar con un grupo control, etc. de manera que tengamos datos que nos ayuden a determinar si la nueva estrategia no sólo parece ser “mejor” que la enseñanza tradicional sino que estemos seguros de ello (o de que no hizo diferencia). De otra manera sólo seguiremos acumulando estrategias de enseñanza-aprendizaje de la Física.

VIII. CONCLUSIONES

Existe gran cantidad de evidencia que demuestra que las ideas previas son un obstáculo importante para la adquisición de los conceptos científicos. Descubrir el mecanismo mediante el cual las personas formamos las ideas previas sería de gran utilidad para la enseñanza de las ciencias, sin embargo a la fecha no existe un modelo aceptado universalmente que explique su adquisición y por lo tanto, la manera en la que se pueden cambiar o sustituir las ideas previas por conceptos científicos. Diseñar un modelo es un trabajo interdisciplinario que requiere de inversión de mucho tiempo y recursos, sin embargo, el aprendizaje de las ciencias no puede esperar. Por lo que es necesario diseñar estrategias de enseñanza que logren que los alumnos realmente comprendan los conceptos científicos aunque su objetivo principal no sea el de cambiar o sustituir las ideas previas que tienen los estudiantes.

En el presente trabajo se realizó una revisión de las ideas previas sobre el concepto de “fuerza” y a partir de lo estudiado se sugiere que el diseño de estrategias de enseñanza-aprendizaje para enseñar dicho concepto considere los siguientes aspectos:

- a. **Todos** los estudiantes llegan al aula con ideas previas acerca de lo que es la “fuerza”.
- b. Las ideas previas no son casualidad, ideas pasajeras, errores momentáneos o triviales sino que se distinguen por: ser muy persistentes, ser de carácter implícito, guardar semejanza con ideas que se ha presentado en la historia de la ciencia, por tener cierta coherencia interna, pueden ser contradictorias cuando se aplican a contextos diferentes y casi siempre se encuentran indiferenciadas de otros conceptos por lo que presentan confusiones cuando son aplicadas a situaciones específicas.
- c. Las ideas previas más comunes sobre el concepto de fuerza son: los objetos permanecen en reposo a menos que

una fuerza actúe sobre ellos, los objetos inanimados no ejercen fuerza, cuando un objeto cae no requiere de fuerza, una fuerza constante produce una velocidad constante, cuando varias fuerzas están en competencia el movimiento está determinado por la fuerza más grande, la magnitud de una fuerza determina el tiempo en el que se recorre una distancia, una fuerza no puede mantener a un objeto acelerado indefinidamente y una fuerza sólo puede mover un objeto si es mayor a la masa del objeto.

A partir de los puntos anteriores y de la revisión realizada acerca de las teorías sobre el cambio conceptual, se concluye que el diseño de una estrategia adecuada para enseñar el concepto de fuerza debe cumplir con las siguientes características:

- La explicación que se proporcione sobre lo que es la fuerza debe ser entendible para el alumno, de manera que pueda relacionar esta información con la que él ya posee.
- El concepto de fuerza se debe enseñar de manera que sea consistente con la experiencia de los alumnos, con sus creencias y de forma que resuelva problemas que cualquiera de las ideas previas sobre este concepto no pueden.
- La explicación acerca de lo que es la fuerza debe generar un fuerte conflicto con las predicciones basadas en cualquiera de las ideas previas sobre fuerza.
- Al enseñar el concepto de fuerza se debe hacer hincapié en su utilidad para resolver problemas cotidianos.
- Se debe proporcionar la mayor cantidad posible de experiencias con el concepto de fuerza, de manera que los alumnos puedan establecer nuevas relaciones sustantivas con otros conceptos y hechos conocidos por ellos. De esta manera lograrán un aprendizaje significativo y no olvidarán fácilmente la nueva información.
- La técnica de enseñanza empleada debe lograr que los alumnos superen los métodos de análisis simplistas (por ejemplo, accesibilidad, contigüidad espacial y temporal, semejanza, etc.) y que en su lugar empleen métodos más sofisticados (conociendo los límites de aplicación de dichos métodos).
- Para lograr un aprendizaje significativo, se debe lograr que los estudiantes estén motivados a aprender y que tengan una actitud positiva para la adquisición del concepto.
- Puede ser útil basarse en una perspectiva epistemológica evolutiva del conocimiento científico para diseñar una estrategia de enseñanza en la que se vayan descartando (mediante demostraciones, experimentos y predicciones) de manera gradual las ideas previas sobre fuerza de acuerdo a la clasificación propuesta por Harres [19], es decir, primero descartar las ideas de tipo Aristotélico, luego las de tipo Medieval Inicial, Medieval Mixta y por último las de Medieval Pre-Inercial.
- Si se cuenta con el tiempo y los recursos necesarios, se sugiere que se utilice alguna técnica o instrumento para conocer las ideas previas sobre fuerza que tienen los alumnos con los que se va a trabajar. De esta manera se podrá diseñar una estrategia de enseñanza más específica para el grupo de alumnos, además de que se tendrá un parámetro para evaluar la efectividad de la estrategia

empleada al evaluar las ideas previas sobre el concepto de fuerza antes y después de la instrucción.

Existen infinidad de estrategias de enseñanza de la Física, entre ellas las que se basan en un aprendizaje activo son las que cumplen con las características enlistadas. **Las Clases Demostrativas e Interactivas (Interactive Lecture Demonstrations)** son una técnica desarrollada por Sokoloff y Thornton, en 1991 con la que logran crear ambientes de aprendizaje activo que son exitosos tanto para grupos pequeños como para grandes. En 2004, Sokoloff y Thornton elaboraron un manual titulado **“Interactive Lecture Demonstrations. Active Learning in Introductory Physics”** en el que proponen una serie de Clases Demostrativas e Interactivas para diversos temas de Física. Por las características de esta técnica, se recomienda ampliamente utilizar la sección de Mecánica para enseñar el concepto de Fuerza. Sin embargo, existe el desafío de mejorar y ampliar dicho Manual para ser aplicado en Latinoamérica y/o para desarrollar otras técnicas, basadas en aprendizaje activo, para enseñar el concepto de Fuerza.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado mediante el proyecto de investigación SIP-20082788 y CONACYT-91335.

REFERENCIAS

[1] Clement, J., *Students' preconceptions in introductory mechanics*, American Journal of Physics **50**, 66-71 (1982).
[2] McDermott, L. C., *Bridging the gap between teaching and learning: The role of research*, AIP Conference Proceedings **399**, 139-165 (1997).
[3] Sebastia, J. M., *Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes*, Enseñanza de las Ciencias **2**, 161-169 (1984).
[4] Gil, P. D. y Guzmán, O. M., *Enseñanza de las Ciencias y la Matemática. Tendencias e Innovaciones*, (Editorial Popular, Madrid, 2001).
[5] Reif, F., *How we can help students acquire effectively usable physics knowledge?*, AIP Conference Proceedings, p. 399 (1997).
[6] Champagne, A. B., Klopfer, L. E. y Anderson, J. H., *Factors influencing the learning of classical mechanics*, American Journal of Physics **48**, 1074-1079 (1980).
[7] Heuvelen, A. V., *Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies*, American Journal of Physics **59**, 891-897 (1991).
[8] McDermott, L. C., *Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned- Closing the gap*, American Journal of Physics **59**, 301-315 (1991).
[9] Fuller, R. G., *Solving physics problems –how do we do it?*, Physics Today **35**, 43-47 (1994).
[10] Goldberg, F. M. y J. H. Anderson, J. H., *Student difficulties with graphical representations of negative values of velocity*, The Physics Teacher **27**, 254-260 (1989).

[11] McDermott, L. C., Rosenquist, M. L. y Van Zee, E. H., *Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics*, American Journal of Physics **55**, 503-513 (1987).
[12] Reif, F. y Larkin, J. H., *Cognition in scientific and everyday domains: Comparison and learning implications*, Journal of Research in Science Education **28**, 733-760 (1991).
[13] Camarazza, A., McCloskey, M. y Green, B., *Naive beliefs in 'sophisticated' subjects: Misconceptions about trajectories of objects*, Cognition **9**, 117-123 (1981).
[14] Greca, I. M. y Moreira, M. A., *The kinds of mental representations -models, propositions and images- used by college physics students regarding the concept of field*, International Journal of Science Education **6**, 711-724 (1997).
[15] Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A., *Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change*, Science Education **66**, 211-227 (1982).
[16] Trowbridge, D. E. and McDermott, L. C., *Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension*, American Journal of Physics **48**, 1020-1028 (1980).
[17] Trowbridge, D. E. y McDermott, L. C., *Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension*, American Journal of Physics **49**, 242-253 (1981).
[18] Meneses, J., Patiño, A. y Mejía, H., *Preconceptos y Conceptos erróneos del movimiento de los cuerpos en docentes que enseñan física en el departamento del César*, (Universidad Popular del Cesar, Colombia, 1995).
[19] Harres, J. B. S., *La física de la fuerza impresa como referente para la evolución de las ideas de los alumnos*, Enseñanza de las Ciencias, Número Extra, VII Congreso, 1-5 (2005).
[20] Grizalez, M. A., Bermeo, D., Agudelo, J. M. y Sánchez, N., *Preconceptos y conceptos erróneos acerca de las leyes del movimiento y sus aplicaciones en docentes de educación media que enseñan física en el departamento del Caquetá*, Revista Colombiana de Física **34**, 529-531 (2002).
[21] Gómez, G. J. A. y Insausti, T. M. J., *Un modelo para la enseñanza de las ciencias: análisis de datos y resultados*, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **4**, 1-20 (2004).
[22] Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H., *Psicología Educativa: Un punto de vista cognitivo*, (Editorial Trillas, México, 1983).
[23] Halloun, I. A. y Hestenes, D., *Common sense concepts about motion*, American Journal of Physics **53**, 465-467 (1985).
[24] Pozo, J. I. y Gómez, M. A., *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*, (Ed. Morata, Madrid, 1998).
[25] Jones, M. G., Carter, G. y Rua, M., *Children's concepts: tools for transforming science teachers' knowledge*, Science Education **83**, 545 – 557 (1999).
[26] Cubero, R., *Concepciones alternativas, preconceptos, errores conceptuales ... ¿distinta terminología y un mismo significado?*, Investigación en la Escuela **23**, 33-42 (1994).

- [27] Jiménez, G. E., Solano, M. I. y Marín, M. N., *Problemas de terminología en estudios realizados acerca de "lo que el alumno sabe" sobre ciencias*, Enseñanza de las Ciencias **12**, 235-245 (1994).
- [28] De Posada, J. M., El estudio didáctico de las ideas previas. En P. Palacios y Cañal de León, *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias*, (Alcoy, Marfil, 2000).
- [29] Camacho, F. F., Tovar, M. M. E., Vega, M. E. J., Bello, G. S., Gamboa, R. F., Castañeda, M. R., Alvarado, Z. C., Chamizo, G. J. A., Cruz, C. J. M., Gallegos, C. L., Sosa, F. P., López A. D. y Mota y Valdez, A. S., Ideas Previas, Disponible en: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/index.php>
Última actualización: 16 enero de 2004.
- [30] Chamizo, J. A., Sosa, P. y Zepeda, S., *Análisis de las ideas previas de la química*, Enseñanza de las Ciencias, Número extra, VII Congreso, 1-5 (2005).
- [31] Pozo, J. I., *Teorías Cognitivas del aprendizaje*, (Morata, Madrid, 1989).
- [32] Pesa, M. y Cudmani L. C., *Sistematización de los resultados alcanzados en investigaciones sobre concepciones alternativas*, Memorias de la X Reunión Nacional de Educación en la Física, Mar del Plata, (1997).
- [33] Bachelard, G., *La formación del espíritu científico*, (Siglo XXI, Buenos Aires, 1972).
- [34] Clerk, D. y Rutherford, M., *Language as a confounding variable in the diagnosis of misconceptions*, International Journal of Science Education **22**, 703-717 (2000).
- [35] Erickson, G., Research programmes and the student science learning literature. En R. Millar, J. Leach y J. Osborne (Eds.), *Improving Science Education* (Open University Press, Buckingham, pp. 271-292, 2000).
- [36] Thijs, G. y Van Den Berg, E., *Cultural factors in the origin and remediation of alternative conceptions in physics*, Science & Education **4**, 317-347 (1995).
- [37] Flores, F. y Gallegos, L., *Partial possible models: an approach to interpret students' physical representation*, Science Education **82**, 15-29 (1998).
- [38] Taber, K., *Multiple frameworks?: Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure*, International Journal of Science Education **22**, 399 – 417 (2000).
- [39] McDermott, L. C., *Research on conceptual understanding in mechanics*, Physics Today, 24-32 (1984).
- [40] Rodrigo, M. J., Del escenario socio-cultural al constructivismo episódico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas. En M. J. Rodrigo y J. Arnay (eds), *La construcción del conocimiento escolar*, (Paidós, Barcelona, 1997).
- [41] Maloney, D. P., *Rule-governed approaches to physics-Newton's third law*, Physics Education **19**, 37-42 (1984).
- [42] Vygotsky, L. S., *Pensamiento y Lenguaje*, (Quinto Sol, México, 1996).
- [43] Ramlo, S., *The Force and Motion Conceptual Evaluation. Paper presented at the Annual Meeting of the Mid-Western Educational Research Association*. Columbus, OH, October 16-19 (2002).
- [44] Minstrell, J., *Explaining the at rest condition of an object*, Physics Teacher **20**, 10– 23 (1982).
- [45] Hestenes, D. y Wells. A. M., *Mechanics Baseline Test*, The Physics Teacher **30**, 159 – 166 (1992).
- [46] Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G., *Force Concept Inventory*, The Physics Teacher **30**, 141 – 158 (1992).
- [47] Hestenes, D. y Halloun, I., *Interpreting the Force Concept Inventory. A response to Huffman and Heller*, The Physics Teacher **33**, 502 – 506 (1995).
- [48] Saxena, A. B., *An attempt to remove misconceptions related to electricity*, International Journal of Science Education **14**, 157 – 162 (1992).
- [49] Rogan, J. M., *Development of a conceptual framework of heat*, Science Education **72**, 103-113 (1987).
- [50] Pozo, J. I., *La historia se repite: Las concepciones espontáneas sobre el movimiento y la gravedad*, Infancia y Aprendizaje **38**, 69-87 (1987).
- [51] Gunstone, R. F. y Watts, D.M., Force and motion. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science*, (Open University Press, Philadelphia, pp. 84-104, 1985).
- [52] Flores, F., *El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas*, Educación Química **15**, 256-269 (2004).
- [53] Posada, J. M. Memoria, cambio conceptual y aprendizaje de las ciencias, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **1**, 1-22 (2002).
- [54] Staddon, J. E. R. y Ettinger, R. H., *Learning: An introduction to principles of adaptive behavior*, (Harcourt Collage Pub., USA, 1989).
- [55] Sokoloff, D., Thorton, R., *Interactive Lecture Demonstrations. Active Learning in Introductory Physics, The Physics Suite*, (John Wiley and Sons, USA, 2004).
- [56] Bourne, Lyle y Dominowsky, *Psicología del pensamiento*, (Editorial Trillas, México, 1980).

LA TEORÍA CINÉTICA ANTES DE MAXWELL

José Manuel Casado Vázquez

Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear
Universidad de Sevilla

Resumen: Son escasos los estudios sobre las teorías cinéticas formuladas antes de que las contribuciones de Maxwell y Boltzmann a finales del siglo XIX, establecieran el marco teórico actual de dicha disciplina. El propósito de este trabajo es llevar a cabo un análisis del desarrollo de las dos ideas esenciales que subyacen en las formulaciones primitivas de la teoría cinética de los gases, a saber: las hipótesis sobre el carácter molecular de los fluidos y las especulaciones sobre la naturaleza del calor. La teoría cinética moderna está cimentada sobre la articulación de un modelo mecánico con argumentaciones de tipo probabilístico. En el presente trabajo se pretende rastrear también el origen de estos dos componentes, al mismo tiempo que se esboza su evolución a lo largo de la historia de las ideas atomísticas durante los últimos cuatro siglos.

Abstract: Detailed studies aiming to explore the main ideas lying behind early kinetic theories are rather scarce. The purpose of this paper is to analyze the development of two basic issues present in the early formulations of the kinetic theory of gases, namely, the hypothesis of the molecular character of gases and the speculations about the nature of heat. Modern kinetic theory articulates a mechanical model of a given physical system with probabilistic arguments. A brief sketch of the origin and the historical evolution of those very different components of the theory is carried out.

Los libros de texto tienden a exponer las diferentes disciplinas científicas en una forma que podríamos denominar ahistórica. Este modo de proceder es probablemente correcto pero aleja al estudiante del conocimiento del contexto en el que se produjeron las teorías y tiende a dar la impresión de que la ciencia es algo que surge ya estructurada en la mente de los que la desarrollan.

Thomas S. Kuhn, en su libro *La estructura de las revoluciones científicas* describe la historia

de cada ciencia como un conjunto de *paradigmas* que han ido sucediéndose a lo largo del tiempo. La noción de paradigma es compleja pero podemos hacernos una primera idea si pensamos en una teoría o conjunto de teorías a la que todos o casi todos los que en un cierto momento histórico practican un campo particular de la ciencia toman como referencia para su trabajo.

La historia de las ideas que culminaron en la actual teoría cinética de los gases constituye un ejemplo notable de la formación de un paradigma; desde las primeras ideas de Bernouilli sobre la naturaleza de los fluidos elásticos hasta el triunfo de la visión atomística de la naturaleza en el último tercio del siglo XIX, podemos ver cómo las ideas cinético-moleculares son planteadas una y otra vez y luego cómo, incapaces de ser incorporadas al paradigma dominante, son relegadas al olvido, sólo para volver a aparecer de nuevo tras décadas de silencio.

LAS PRIMERAS HIPÓTESIS ATOMÍSTICAS

La idea de que los cuerpos materiales son agregados de partículas en movimiento tiene un origen considerablemente remoto: cuando el escritor latino Lucrecio (99-55 a.C.), dedica su poema *De rerum natura* a la exposición de la física de Epicuro (341-270 a.C.), no hace sino recoger los comentarios de éste a las opiniones de los filósofos griegos Leucipo y Demócrito, para quienes el mundo está compuesto por átomos, es decir, por partículas indivisibles que siendo infinitas en número e invisibles, son además indestructibles, absolutamente simples y todas iguales en cualidad, pero difieren en la forma, el orden y la posición. Estos átomos no pueden llenar completamente el mundo porque, de hacerlo, no podría tener lugar ningún movimiento; debe existir, por lo tanto, un vacío en el que a las partículas le sea permitido moverse. Para los atomistas, toda sustancia, todo cuerpo material estará constituido por alguna de las infinitas combinaciones posibles de estos átomos y cada objeto particular existirá mientras los átomos que lo constituyen se mantengan unidos y dejará de existir cuando se separen. Por otro lado, los cambios que observamos en los cuerpos materiales se deben al continuo proceso de agregación y separación de dichas partículas. Para Demócrito, los átomos se encuentran sometidos a rápidos movimientos aún en el caso de que los cuerpos estén aparentemente en reposo, pero dichos movimientos se deben exclusivamente al peso de los propios átomos y tienen lugar siempre en sentido descendente. Esta última suposición está asociada probablemente, con la suposición de una tierra plana y, por tanto, a la idea de que es posible establecer una dirección absoluta en el espacio. Lucrecio describe en su poema a todas esas invisibles partículas cayendo hacia abajo en el vacío con velocidades paralelas e introduce la hipótesis del *clinamen* (deflexión), que en ciertos momentos y en ciertos lugares, trastorna imperceptible pero arbitrariamente dichos movimientos regulares y produce las ocasionales colisiones que, por un lado, dan lugar a los cuerpos materiales y, por otro, permiten el desarrollo del libre albedrío en el hombre.

Hoy día estamos convencidos de que la teoría de Demócrito no tiene nada que ver con nuestra comprensión actual de la naturaleza. Sin embargo, no debíamos ser demasiado exigentes con el atomismo antiguo porque, como el historiador de la ciencia George Sarton nos advierte:

Al juzgar la teoría atomística griega debemos precavernos contra dos tentaciones: la primera consiste en igualarla a la moderna teoría inventada por Dalton a comienzos del siglo XIX; la otra en no incluirla en la historia de la ciencia en virtud de su vaguedad. Existe, por supuesto, una diferencia enorme entre la idea griega y la de Dalton: es la gran diferencia que existe entre una concepción filosófica que no puede comprobarse y una hipótesis científica que invita a una larga serie de verificaciones experimentales. Por otra parte, no cabe duda de que la teoría de Demócrito, resucitada por Epicuro y popularizada por Lucrecio, constituyó un estímulo intelectual a través de los siglos. Los maestros judíos y cristianos trataron de hundirla pero no murió jamás. El relato de sus vicisitudes es uno de los más notables en la historia del conocimiento .

Mientras que, con el paso del tiempo, los detalles de la teoría expuesta por Lucrecio quedaron reducidos a meras curiosidades eruditas, no puede decirse que ocurriera lo mismo con las ideas básicas de Leucipo y Demócrito porque, de hecho, el atomismo nunca llegó a desaparecer por completo y sus ideas, transmitidas por los comentaristas y filósofos árabes de la época medieval, volverán a florecer de nuevo tanto en los intentos de refutarlas por parte de los filósofos escolásticos, quienes las consideraban contrarias al dogma de la transubstanciación, como en los escritos de Giordano Bruno (1548-1600), Francis Bacon (1561-1626) o Petrus Gassendi (1592-1655). Poco después, el rastro vuelve a aparecer, nítido, cuando Isaac Newton (1642-1727), tras explicar las leyes del movimiento planetario mediante el recurso a fuerzas entre partículas puntuales dotadas de inercia, nos confiesa, a finales del siglo XVII, que:

Me parece probable que, en el comienzo, Dios formase la materia como partículas sólidas, masivas, duras, impenetrables y móviles, de tales formas y tamaños y otras propiedades, y en tales proporciones como fuera más conveniente para los fines para los que las formó; y que esas partículas primitivas, siendo sólidas, son más duras que cualquiera de los cuerpos porosos por ellas constituidos; tan duras de hecho que no pueden ser rotas en pedazos; no pudiendo ninguna potencia ordinaria dividir lo que el mismo Dios hizo único en la primera creación .

En el siglo XVII, el trabajo de Galileo Galilei (1564-1642) y el del propio Newton acabó por generar una nueva visión del mundo según la cual los elementos primarios de la materia que constituye el universo físico siguen leyes inteligibles, cuya verdadera formulación exige expresiones matemáticas. En esta concepción escuchamos el eco de los antiguos "fisiólogos" jónicos, pero ahora el contexto ha cambiado, porque la ciencia tiene a su disposición el cálculo diferencial; el lenguaje que permite ir más allá de las descripciones cualitativas.

La nueva interpretación mecánica del universo alentó, como no podía ser de otra forma, la aparición de diversos modelos atomísticos de la materia pero de ninguno de ellos puede decirse que constituyese lo que hoy entendemos por una verdadera teoría cinética. Las especulaciones sobre una explicación molecular de las leyes de los gases, llevadas a cabo por Jakob Bernouilli (1654-1705) y por su hermano Johann (1667-1748) son significativas a este respecto. Sin embargo, los avances en este periodo no proceden de dicho enfoque especulativo sino del propio trabajo experimental que condujo a la formulación de las leyes de los gases: Torricelli, Pascal, Boyle y otros muchos establecerán más allá de toda duda que el aire es un fluido, lo que permitirá la identificación de su peso como el causante de la presión atmosférica y el desplazamiento definitivo del *horror vacui* como explicación racional de muchos fenómenos *pneumáticos*. El establecimiento de las leyes de los gases y, en especial de la llamada ley de Boyle, una relación de proporcionalidad entre la presión de un gas y su densidad, fue una consecuencia directa de la explotación de las nuevas posibilidades experimentales que brindaba la tecnología del vacío.

En lo que se refiere al problema de la naturaleza del calor, la primera teoría que alcanzó un cierto predicamento general fue aquella según la cual el calor es una substancia o fluido, al que Lavoisier dio el nombre de calórico, compuesta por partículas que se repelen entre sí pero que se ven atraídas por los átomos de la materia ordinaria. El calórico tiende entonces a difundirse y pasar de un objeto a otro, introduciéndose por los intersticios de los cuerpos materiales. Cada partícula de materia estaría entonces rodeada de una atmósfera de calórico que introduciría una cierta repulsión entre las partículas, contrarrestando de esa forma la fuerza gravitatoria entre ellas. Admitiendo que la densidad de esa atmósfera calórica es proporcional a la temperatura del cuerpo es muy fácil explicar, por ejemplo, que el responsable de la dilatación de un cuerpo es el aumento en la repulsión entre las partículas materiales, efecto que se sigue del aumento de densidad del fluido calórico al aumentar la temperatura. Por otra parte, la fricción produciría simplemente la liberación de una parte de ese, aparentemente inagotable, calor latente almacenado en los cuerpos.

La teoría del calórico, por lo tanto, no se oponía a la concepción atomística de la materia; de hecho estaba dentro de esa misma tradición. Tenemos ocasión de comprobar aquí cuán profundamente se habían incorporado ya las imágenes de los antiguos atomistas al acervo de los científicos naturales: la idea de que el calor es una substancia llevaba inmediatamente a considerarlo compuesto por un cierto tipo de partículas. Es tentador establecer una comparación entre este modelo corpuscular del fluido calórico y el modelo similar del fluido gaseoso que está implícito en las ideas de Newton, entre otras razones porque éste tuvo que superar la visión alternativa de los partidarios del continuo.

En la actualidad es difícil sustraerse a la tentación de considerar la teoría del calórico como

una mera especulación primitiva; sin embargo, esta idea del calor como una sustancia permitió a Pierre Simon de Laplace (1749-1827) tanto reobtener las leyes de los gases sin hacer referencia a ningún modelo atomístico de la materia como formular la mejor explicación de los fenómenos de capilaridad hasta el trabajo de van der Waals de 1873. Igualmente habría que notar que los trabajos de Rumford y Davy, reconocidos actualmente como las primeras objeciones serias a dicha teoría, no fueron considerados por entonces como tales. Se ha insistido en que esto se debió a la falta de una teoría alternativa, pero esta hipótesis, aunque probablemente correcta, parece insuficiente porque, como veremos más adelante, aún en los siglos en que la idea de una sustancia calórica era dominante, una cierta corriente de pensamiento no dejó de insistir en la idea del calor como movimiento. Esto será particularmente evidente, en primer lugar, en la obra de Daniel Bernouilli y después, en el ataque a las ideas de Laplace llevado a cabo por John Herapath a comienzo del siglo XIX.

Las primeras teorías cinéticas, esto es, los primeros intentos de abordar el estudio cuantitativo de las leyes macroscópicas mediante el empleo de modelos mecánicos basados en la supuesta existencia de constituyentes microscópicos en movimiento (corpúsculos o partículas materiales), tienen que ver con el estudio de los gases perfectos. El inglés Robert Boyle enunció en 1660 una teoría según la cual, la *elasticidad* del aire, esto es, su capacidad para resistir el peso de la columna de mercurio en los experimentos de Torricelli, se debe a su constitución microscópica. Para Boyle, el aire está compuesto de una multitud de pequeños cuerpos que, descansando unos sobre otros, actúan como muelles, y cuya capacidad para resistir la compresión es la que le proporciona su elasticidad. El modelo elástico, aunque esté lejos de constituir una verdadera teoría cinética, ya nos presenta la línea maestra del razonamiento atomístico moderno, según el cual se pueden explicar cuantitativamente los fenómenos macroscópicos sobre la base de la constitución microscópica de los cuerpos. También Newton en sus *Principia* (1687) dedicó un breve espacio a discutir las consecuencias de algunas hipótesis sobre las fuerzas de interacción intermoleculares. La suposición de que los átomos interaccionan entre sí mediante fuerzas inversamente proporcionales a las distancias entre ellos le permitió reobtener la ley de Boyle. Sin embargo, el modelo según el cual un gas está compuesto por partículas interactivas era tan avanzado en la época de Newton como en la posterior de Bosovich y ambos fueron incapaces de sacar consecuencias concretas de ella. Los físicos tardarían más de dos siglos en redescubrir y volver operativa dicha idea: hasta los trabajos de Clausius, el explicar las propiedades de los gases no exigía otra cosa que un modelo de partículas independientes.

DANIEL BERNOUILLI

Probablemente, la primera estimación cuantitativa de las propiedades de un cuerpo basada en su constitución molecular es la que aparece en la *Phoronomia* de J. Hermann (1716). Este

autor afirma en la proposición LXXXV de su libro que *el calor en cuerpos de análoga composición está en la razón compuesta de la densidad del cuerpo caliente y el cuadrado de la agitación de sus partículas* (*Calor, caeteris paribus, est in composita ratione ex densitate corporis calidi, & duplicata ratione agitationis particularum ejusdem*). Lo que Hermann llama calor es lo que nosotros llamamos presión y la agitación de las partículas es la *celeritas media inter celeritates particulares*, es decir la velocidad (escalar) media de las moléculas del cuerpo. La proposición anterior establece, entonces, la proporcionalidad directa entre la presión, la densidad y el cuadrado de la velocidad media de las partículas del gas. No queda claro, sin embargo, a qué se refiere cuando habla de esta última magnitud ya que, aunque podamos suponer que Hermann admitía una cierta distribución de velocidades para las partículas, no hace mención explícita de ello. Aún así, puede afirmarse que él fue el primero en crear una teoría cinética que a la vez contenía ciertos rasgos estadísticos. Este doble fundamento, que es la característica de la teoría cinética moderna, no será corriente hasta casi un siglo más tarde.

La temprana formulación de Hermann es especialmente notable pero ha sido poco valorada desde un punto de vista histórico, ya que generalmente se suele afirmar que los primeros que formularon una verdadera teoría cinética fueron Leonhard Euler en 1729 y Daniel Bernouilli en 1738. El primero de ellos intentó explicar diversas propiedades del aire a partir del análisis de la teoría de los torbellinos de Descartes que había llevado a cabo Johann Bernouilli. Para ello, supuso que las partículas que forman el aire son esferas en rotación compuestas por un alma de éter alrededor de la cual hay una capa de la *verdadera sustancia del aire*, capa que se encuentra a su vez rodeada por otra capa de agua. Mientras que la presión es una manifestación de la fuerza centrífuga asociada con el movimiento de rotación, la humedad para Euler está ligada a la proporción entre el agua de la capa externa y la verdadera sustancia del aire de la capa intermedia. Euler también supuso que la velocidad lineal asociada con el movimiento de rotación es la misma para todas las moléculas y empleando esta hipótesis derivó una relación entre dicha velocidad y la densidad, presión y humedad del aire. Para el aire seco, dicha relación es esencialmente la de proporcionalidad entre presión y densidad.

Aunque haya sido muy valorada por historiadores como Truesdell, no cabe decir que el modelo euleriano de la constitución molecular del aire constituya un antecedente válido de las ideas modernas. De hecho, la línea de trabajo del gran matemático suizo en cuestiones de física proporciona uno de los ejemplos característicos del punto de vista opuesto a las concepciones atomistas, ya que tiende a descartar la estructura molecular de los cuerpos en favor de una descripción en términos de un continuo. En cualquier caso, no parece que el modelo de Euler tuviese influencia en la física posterior.

El caso de Daniel Bernouilli (1700-1782) es totalmente diferente porque la influencia de sus ideas acerca de la constitución molecular de los fluidos resultará evidente, todavía, en el trabajo del propio Maxwell a finales del siglo XIX. Bernouilli, hijo de Johann y sobrino de Jakob, pertenecía a una distinguida familia oriunda de Amberes que había emigrado a Ginebra en 1583 huyendo de las persecuciones religiosas contra los hugonotes. Como Euler, estuvo empleado algún tiempo como profesor de matemáticas en la corte de San Petersburgo y, más tarde, ya en Basilea, se dedicó a la anatomía, la botánica y la física. Se le considera, junto al propio Euler, como el fundador de la Física Matemática. En el año 1738, publicó un tratado

sobre mecánica de fluidos, denominado *Hydrodynamica*, en el que dedicaba cuatro páginas a tratar las propiedades y movimientos del aire mediante un modelo corpuscular.

Tras definir lo que denomina fluidos elásticos como aquellos que poseen peso, se expanden en todas direcciones a menos que se les confine y se les puede comprimir, imagina que tal fluido no es otra cosa que un conjunto infinito de *corpúsculos* esféricos diminutos que se mantienen en movimiento de traslación incesante y muy rápido. Este es, esencialmente, el modelo de Newton o Hermann: lo característico de la aportación de Bernouilli consiste en haber establecido de forma explícita el origen cinético de la presión. En efecto, para Bernouilli, cuando se confina a un fluido en un recipiente cerrado por un pistón sobre el que actúa un peso, son los choques de dichas partículas contra la pared del émbolo los que mantienen a éste en su lugar, de forma que si se retirase el peso, el fluido se expandiría y si se aumentase, se comprimiría volviéndose más denso. No hay en el razonamiento, por tanto, ninguna referencia a supuestas fuerzas interparticulares. A continuación, Bernouilli razona que si se aumenta el peso del pistón, el fluido se comprime hasta que la altura del émbolo sobre el fondo del recipiente se vuelve una fracción de su altura original. Tras la compresión, atribuye el aumento de presión en el interior del recipiente tanto al hecho de que el número de partículas se haya vuelto mayor en proporción al menor volumen en que se ven confinadas como a que las partículas del gas llevan a cabo impactos más frecuentes contra las paredes del émbolo. Partiendo de ese modelo, Bernouilli es capaz de elaborar un tratamiento cuantitativo que le lleva a la ley de proporcionalidad entre presión, la densidad y el cuadrado de la velocidad de las partículas del gas.

A continuación analiza el hecho experimental de que la presión del gas pueda aumentarse mediante un aumento de temperatura. Comienza afirmando que el calor está relacionado con el movimiento de las partículas, pero lo hace de pasada, como si dicha idea fuese ya del dominio común:

Como es bien conocido que el calor se intensifica cuando el movimiento interno de las partículas aumenta, se sigue que cualquier aumento en la presión de aire que no haya cambiado de volumen indica un más intenso movimiento de sus partículas.

Sacando las consecuencias lógicas de esta idea, Bernouilli razona que cuanto mayor sea la temperatura del gas, mayor peso habremos de ponerle al pistón para contrarrestar el más violento movimiento de las partículas. Nada hay en su línea de razonamiento, sin embargo, que haga pensar en una posible distribución de velocidades moleculares, lo que ha sido interpretado frecuentemente en el sentido de que suponía que las velocidades de todas las partículas eran iguales.

Concretando, afirma que no es difícil ver que el peso que deberemos ponerle al émbolo debe

variar como el cuadrado de la velocidad de las partículas, pues al aumentar la velocidad, aumentan igualmente el número de impactos y la intensidad de cada uno de ellos. El razonamiento le permite concluir que el aumento de la presión con la temperatura es proporcional a la densidad (la llamada ley de Amontons).

Las ideas de Hermann, Euler y Bernouilli concernientes a la naturaleza microscópica de los fluidos elásticos, no suscitaron mas que un interés puramente marginal, aunque no faltasen intentos inmediatamente posteriores de elaborar una imagen cinético-molecular de los gases. Así, en la década de 1750, el ruso Lomonosov (1711-1765) escribió sobre las energías de traslación, rotación y vibración de las moléculas y especuló sobre el efecto que tendrían las colisiones entre ellas. En 1758, el influyente jesuita dalmata Roger Joseph Boscovich (1711-1787), en el que puede considerarse como el intento más ambicioso de sistematizar el conocimiento científico del siglo XVIII, consideraba a las moléculas como puntos matemáticos y conjeturaba la existencia de complejas fuerzas intermoleculares que eran repulsivas o atractivas dependiendo de la distancia entre las partículas. El problema con las ideas de Boscovich es que aparecían en el contexto de especulaciones confusas y, por tanto, sus posibilidades como modelos moleculares capaces de producir resultados cuantitativos eran inexistentes; a pesar de la influencia que tuvieron en su siglo, debiera considerárselas simplemente como brillantes intuiciones. Algo parecido puede decirse de la teoría del ginebrino George Louis Le Sage (1724-1803) sobre las partículas *ultramundanas*. Aún así, muchas de estas teorías que hoy parecen meras especulaciones sin sentido jugaron un papel determinante en el rumbo posterior de las investigaciones. El caso de Boscovich es especialmente significativo, en primer lugar porque él fue el primero en afirmar, en contra de sus contemporáneos, que la naturaleza de los átomos que forman los sólidos y los líquidos es la misma que la de los que forman los gases y, en segundo lugar, porque su intento de establecer una teoría unificada de los fenómenos físicos basada en la *Naturphilosophie* kantiana, influenciará a grandes científicos del siglo XIX como Faraday, Oersted o Lord Kelvin, sin que por ello dejara de olvidarse a comienzos del siglo siguiente.

JOHN HERAPATH

En 1816, un oscuro maestro inglés llamado John Herapath (1790-1869) publicó en los *Annals of Philosophy*, una pequeña revista privada, un trabajo titulado *Acerca de las propiedades físicas de los gases*, en el que obtenía las leyes de los gases ideales mediante un modelo esencialmente igual al de Bernouilli. Herapath identificaba el calor con el movimiento interno pero cometió el error de definir la temperatura como proporcional a la velocidad de las partículas en vez de a su energía cinética. A pesar de ello, puede decirse que fue el primero en demostrar que una teoría cinética es capaz de proporcionar explicaciones sencillas a fenómenos tales como los cambios de estado, la difusión o la propagación del sonido en el

aire. En 1820, Herapath presentó a la Royal Society su trabajo Una investigación matemática sobre las causas, leyes, y principales fenómenos del calor, gases, gravitación, etc., con la intención de que se publicase en las *Philosophical Transactions*. Aunque el trabajo fue presentado ante la Sociedad por Davies Gilbert, uno de sus miembros, se lo juzgó impropio de ser publicado en las *Transactions* por su carácter excesivamente teórico, o como dijo el propio Gilbert en su carta de contestación a Herapath, por ser algo tan abstruso y metafísico.

Cuando algún tiempo después, el famoso científico sir Humphry Davy fue elegido presidente de la Royal Society, Herapath volvió a presentar una versión revisada del trabajo junto con los resultados de algunos experimentos que avalaban su teoría. Aparentemente la situación era favorable porque Davy era un atomista convencido, pero el trabajo se vio de nuevo rechazado, entre otras razones, por la opinión contraria del propio Davy, quien lo creía demasiado especulativo. Herapath retiró el trabajo después de un largo forcejeo epistolar con Davy y lo publicó de nuevo en los *Annals of Philosophy*.

Tiempo después, en 1826, Herapath comenzó a escribir largas cartas al *Times* explicando su posición y, en su afán por polemizar, acabó poniendo en evidencia a Davy al citar extractos de correspondencia privada en los que éste no quedaba en buen lugar. Los intentos infructuosos de conseguir eco oficial para sus investigaciones duraron hasta el año 1828, cuando en su última carta al periódico manifestó que *esperaba no volver a aparecer en público para tratar de este asunto*. Condenado al ostracismo por la opinión oficial y habiéndosele cerrado incluso las puertas de las pequeñas revistas no oficiales, Herapath no alcanzó a ejercer influencia entre sus contemporáneos si exceptuamos a Joule, quién habiendo comenzado en 1848 a publicar trabajos sobre el tema, confesaba haber sido influido por las ideas contenidas en el libro *Mathematical Physics*, publicado por Herapath en 1847.

Aunque aceptemos de entrada que los problemas de naturaleza personal obstaculizaron la publicación de las ideas de Herapath, está claro que fue otro tipo de dificultades de carácter más profundo las que impidieron su difusión. ¿Cómo es posible que ideas que, en el fondo, eran las que había desarrollado Bernouilli un siglo antes sin encontrar oposición, ahora fuesen consideradas altamente especulativas incluso por científicos de clara adscripción al atomismo?

Una aproximación a este problema ha de tener necesariamente en cuenta que las teorías de Bernouilli o Euler, por ejemplo, se propusieron a la consideración pública en el contexto de trabajos en los que se empleaba una perspectiva mucho más amplia. Como hemos visto, las concepciones cinético-moleculares del primero aparecen como una simple digresión en un tratado de naturaleza completamente aplicada, en el que, entre otras ideas fundamentales, Bernouilli enuncia la ecuación que hoy día lleva su nombre, una de las primeras formulaciones del principio de conservación de la energía y, al tiempo, una de las ecuaciones fundamentales de la Hidráulica. Sin duda, la concepción de que el calor no es otra cosa que movimiento era inaceptable en su época, un tiempo dominado por la idea substancialista, sin embargo, el contexto en que Bernouilli formulaba y divulgaba sus ideas ocultó completamente la fuerte carga revolucionaria que éstas poseían. En otras palabras, a Bernouilli se le podía

permitir que especulase un poco. De hecho, sus resultados sobre mecánica de fluidos fueron incorporados inmediatamente al saber científico y pasaron al dominio común de la tecnología de la época mientras que sus ideas sobre la naturaleza corpuscular de los gases y sobre el origen mecánico del calor fueron simplemente olvidadas hasta que el paradigma dominante no comenzó a ser puesto bajo escrutinio.

El drama de Herapath consiste en haber redescubierto esas ideas un poco demasiado pronto; cuando estaba llegando su tiempo pero todavía no había llegado. Era virtualmente imposible que los hombres de ciencia adoptaran las ideas de Herapath sobre la constitución molecular mientras la teoría del calórico estuviese vigente. Sin embargo, a principios del siglo XIX el panorama había cambiado respecto a la época de Bernouilli y la hipótesis de que el calor no es otra cosa que movimiento *microscópico* ya no era una especulación más o menos imaginativa; ahora se trataba de la teoría alternativa que luchaba por imponerse y desbancar a las ideas establecidas y como tal fue tratada, analizada y sometida a escrutinio, incluso por aquellos que, desde otras posiciones o disciplinas, estaban contribuyendo a derribar el antiguo paradigma. Ese momento es crucial para una nueva teoría y en él juegan usualmente un papel más relevante aquellos que consiguen imponer las nuevas ideas que quienes las habían formulado originalmente. En este caso, como en tantos otros, el abandono de las viejas ideas y el triunfo de las nuevas fue casi repentino, una vez que se consiguió vencer la inercia que tienen las ideas antiguas; incluso antes de la muerte de Herapath en 1869, la nueva teoría cinético-molecular por la que éste tanto había luchado estaba relativamente asentada y era respetada en el seno de la comunidad científica de la época.

Hay otra razón que ayuda a explicar el rechazo a las ideas de Herapath. Algo que tiene que ver con el ejercicio de la actividad científica como profesión. En el siglo XIX, las sociedades científicas se encuentran ya firmemente establecidas como guardianas de la ciencia ortodoxa, existe la profesión de físico y los resultados de la investigación ya no se publican mediante largos tratados, sino a través de artículos en revistas que, en cierto modo, se juegan el prestigio al publicarlos. La actividad científica ha cambiado su *status* en la sociedad; ya no corresponde a una extensión de la actividad filosófica tradicional, e incluso el nombre de Filosofía Natural ha dejado de estar asociado con la física, como ocurría en tiempos de Newton. No cabe duda que Herapath se enfrentó abiertamente a la ciencia oficial y no sólo desde el punto de vista de las ideas sino también porque puso en cuestión su organización y su estructura jerárquica.

En este último sentido, el caso del escocés James Prescott Joule podía haber sido similar al de su contemporáneo Herapath. Joule era como éste un completo *outsider* en el *establishment* científico de su época pero encontró un valedor enérgico y constante en William Thomson (Lord Kelvin) y las cosas le rodaron mucho mejor. Había publicado trabajos sobre la naturaleza del calor desde 1844, empleando un modelo microscópico que recordaba al de Euler. Sin embargo, la lectura de un libro de Herapath le indujo a adoptar la hipótesis de que es el movimiento de translación y no el de rotación el responsable de las propiedades de los gases. Concluyó que la temperatura del gas es proporcional al cuadrado de la velocidad y por tanto a la *vis viva* de las partículas, esto es a su energía cinética. Como era de esperar, los trabajos de Joule sobre teoría cinética tampoco ejercieron influencia en los círculos científicos de su época.

JAMES WATERSTON

Si el caso de Herapath es dramático, cabría calificar de trágico el destino de John James Waterston (1811-1883), porque, él sí que se quedó literalmente en el umbral de la nueva época. Ya en 1843, Waterston había publicado en Edimburgo, de forma privada, un pequeño libro titulado *Pensamientos sobre las funciones mentales*, en el cual, sorprendentemente en un libro con ese título, incluía una breves notas resumiendo su teoría sobre la constitución física de los sistemas gaseosos. En una de ellas se introducía por primera vez el *camino libre medio*, una de los conceptos capitales de la teoría cinética y una idea que aun se sigue asociando con el nombre de Clausius. Como era previsible, dada la forma en que habían visto la luz, las ideas de Waterston no tuvieron ninguna repercusión entre las personas que se ocupaban de estos temas. El 11 de diciembre de 1845, es decir, seis años antes de que se publicara el trabajo de Joule, Waterston envió a la Royal Society un trabajo titulado *Acerca de la física de los medios compuestos por moléculas libres y perfectamente elásticas en movimiento*. En un resumen de dicho trabajo que la Royal Society publicó en 1846, podemos leer que Waterston se ocupa, mediante un modelo parecido al de Bernouilli, de problemas tales como las leyes de los gases, la condensación y dilatación de los mismos y también de otras cuestiones como el equilibrio de la atmósfera y la velocidad del sonido. Más descriptivo aún es un segundo resumen, publicado por 1851 con ocasión de una reunión de la *British Association for the Advancement of Science* y en el que bajo el título *Acerca de una teoría general de los gases*, se afirma que

El autor deduce las propiedades de los gases, en lo que respecta al calor y la elasticidad, a partir de una forma peculiar de la teoría que afirma que el calor consiste en pequeños pero rápidos movimientos de las partículas de materia. Concibe que los átomos de un gas, siendo perfectamente elásticos, están en continuo movimiento en todas direcciones, estando limitados a permanecer en el interior de un espacio limitado por las colisiones entre ellos y con las partículas de los cuerpos que lo rodean. La vis viva de dichos movimientos en una porción dada de gas constituye la cantidad de calor contenida en ella.

El autor muestra que el resultado de este estado de movimiento debe proporcionar al gas una elasticidad proporcional a la media del cuadrado de la velocidad de los movimientos moleculares, y a la masa total contenida en la unidad de volumen; es decir, a la densidad del medio. Esta elasticidad, en un gas dado, es la medida de la temperatura. El equilibrio de presión y de calor entre dos gases tiene lugar cuando el número de átomos en la unidad de volumen es igual, y la *vis viva* de cada átomo es igual. La temperatura, por lo tanto, en todos

los gases, es proporcional a la masa de un átomo multiplicada por la media del cuadrado de la velocidad de los movimientos moleculares, siendo medida a partir de un *cero absoluto* situado 491° por debajo del cero de la escala Fahrenheit. Si se comprime un gas, la potencia mecánica gastada en esta compresión es transferida a las moléculas del gas aumentando su *vis viva*; y correspondientemente, cuando el gas se expande, la potencia mecánica suministrada durante la expansión se obtiene a expensas de la *vis viva* de los átomos. Este principio explica las variaciones de temperatura producidas por la expansión y condensación de los gases, las leyes de su calor específico bajo diferentes circunstancias, y la velocidad del sonido en ellos. El descenso de temperatura encontrado al ascender en la atmósfera, en ausencia de perturbaciones debidas a radiación o a otras causas, debiera coincidir con la *vis viva* necesaria para elevar a los átomos a través de una altura dada.

El autor muestra que la velocidad con la que los átomos se difunden es proporcional a la poseída por dichos átomos según sus hipótesis .

En este breve resumen ---que no fue escrito por el propio Waterston---, puede apreciarse que, aunque el enfoque es fundamentalmente el de Bernouilli y Herapath, se introduce de nuevo un planteamiento estadístico, ya que aparece de nuevo la velocidad media de las partículas del gas. Waterston obtiene la proporcionalidad correcta entre la temperatura del gas y la media del cuadrado de la velocidad de las partículas que lo forman; de hecho este texto es el primero en que aparece la moderna definición de temperatura basada en la estructura molecular de la materia, aunque ya Herapath había apuntado esa posibilidad. Waterston es también el primero en vislumbrar el llamado *teorema de equipartición de la energía* porque su afirmación de que la temperatura es, en todos los gases, proporcional a la masa de un átomo multiplicada por la media del cuadrado de la velocidad es el caso más sencillo de aplicación de dicho principio. Según las reglas de la época, los trabajos sometidos a consideración de la Royal Society por personas que no fueran miembros de ella podían ser *leídos*, esto es, presentados oficialmente, siempre que estuviesen avalados por un miembro, pero pasaban a ser propiedad de la Sociedad ya fuera que se publicasen o que se vieran rechazados. El caso es que el de Waterston fue informado desfavorablemente por los dos expertos que lo analizaron y, aunque se leyó en una sesión de la Royal Society en marzo de 1846, no apareció en forma impresa, permaneciendo en los archivos hasta el año 1893, en que Lord Rayleigh lo publicó, con anotaciones suyas, en las *Philosophical Transactions*.

Es sorprendente que Waterston no hiciese patente ninguna pretensión de prioridad cuando algunos años más tarde, la teoría cinética se convirtió en un campo respetable y reconocido del quehacer científico y las ideas que había desarrollado comenzaron a ser reobtenidas por otras personas. Quizá fue por razón de su fe religiosa fundamentalista (al igual que Faraday, era sandemaniano), o por el compromiso moral al que se consideraba atado por el mero hecho de

haber presentado el trabajo. Pero esta renuncia a hacer valer su derecho moral no significa que no se sintiese agraviado por el *establishment* científico: hasta su muerte, Waterston mantuvo una actitud extraordinariamente crítica contra los científicos reconocidos de su tiempo y especialmente contra Lord Kelvin aunque, por lo que sabemos, éste nada tuvo que ver con la negativa de la Royal Society a publicar el trabajo de Waterston.

Es cierto que las ideas de Waterston fueron acogidas con total incompreensión por los representantes de la ciencia oficial de su país, como se refleja claramente en los informes de los *expertos* que revisaron su artículo de 1846. Sin embargo, este hecho no puede deberse a que esas ideas fuesen excesivamente especulativas para su tiempo, como demuestra la acogida al artículo publicado por Krönig sólo unos años más tarde. Tampoco parece que los científicos que rechazaron la publicación encontrasen errores en el trabajo de Waterston, puesto que sus argumentos no entran en esos detalles. Nos encontramos aquí, de nuevo, con un obstáculo de origen sociológico: la incapacidad académica para acoger las nuevas ideas si estas vienen de fuera de los círculos reconocidos. Esta explicación gana peso cuando tenemos en cuenta que en la década de 1850 era ya patente un cambio en la actitud de rechazo a las ideas cinético-moleculares, hecho que no podía ser ignorado por los miembros del *establishment* científico británico. De forma no tan sorprendente como pudiera parecer en un principio, el trabajo que dotó de credibilidad a las ideas de la teoría cinética no fue publicado en Gran Bretaña, el país donde habían tenido su desarrollo final las ideas básicas, sino en Alemania.

KARL KRÖNIG Y RUDOLF CLAUSIUS

Karl Krönig es, probablemente, la contrafigura de Waterston: mientras que éste era un oficial del servicio civil británico en la India, un *amateur* en el campo de la ciencia, aquel era un químico de prestigio, profesor en la *Realschule* de Berlín y con cierta influencia en la *Physikalische Gesellschaft* de la capital alemana. En 1856, Krönig publicó un pequeño trabajo en los *Annalen der Physik* en el que elaboraba una teoría cinética reintroduciendo, aparentemente de manera independiente, las ideas de Bernouilli y Herapath pero sin ir realmente más lejos que ellos, salvo en lo que se refiere al carácter estadístico de la descripción. Su estrategia para obtener expresiones de las magnitudes macroscópicas del gas mediante un modelo microscópico consistía en reemplazar el desconocido movimiento real de las moléculas por un modelo que permitiera el cálculo cuantitativo, ya que, aunque el camino de cada molécula debía ser tan irregular como para desafiar todo cálculo, siguiendo las leyes de la teoría de la probabilidad, se podía sustituir dicho movimiento irregular por uno dotado de una regularidad completa.

Por lo demás, el modelo mecánico de gas empleado por Krönig se basaba en admitir que un gas químicamente homogéneo puede describirse como un conjunto de esferas perfectamente elásticas que se mueven aleatoriamente, de modo que en cada instante de tiempo, el número de las que se mueven en la dirección de un eje coordenado es, por término medio, igual al de las

que se mueven según cualquiera de los otros ejes. Dado que el volumen ocupado por las moléculas es despreciable con respecto al volumen del recipiente, aquellas se pueden considerar como masas puntuales que se comportan en los choques como esferas duras, de manera que las fuerzas intermoleculares entre ellas sólo se ponen de manifiesto en el instante en que entran en contacto. Tras cada colisión, la molécula se moverá con velocidad uniforme hasta que vuelva a chocar o golpee la pared del recipiente. Por otra parte, dado que un gas aislado en un recipiente no muestra ninguna tendencia a perder su presión, Krönig razonaba que los choques entre las moléculas y los de éstas con las paredes debían ser perfectamente elásticos.

Empleando su modelo, Krönig calculó la cantidad de movimiento media transferida por las moléculas a la pared y eso le permitió obtener la presión que ejerce el gas. Sin embargo, su resultado resultó equivocado, entre otras cosas porque calculó mal la transferencia elemental de cantidad de movimiento que se produce cuando una molécula rebota contra la pared. A pesar de éste y otros errores y de que ninguna de sus ideas era realmente nueva, Krönig triunfó allí donde Herapath, Joule y Waterston habían fracasado sólo unos años antes: su trabajo rompería por fin la barrera de la indiferencia y de los prejuicios y sería leído y respetado, siendo considerado durante mucho tiempo como el punto de partida de la teoría cinética moderna.

La publicación del trabajo de Krönig tuvo la consecuencia adicional de proporcionar el estímulo para que el profesor Rudolf Clausius, ya por entonces un científico muy respetado por sus contribuciones a la Termodinámica, se decidiese a dar a la imprenta sus propias investigaciones sobre el tema. En el artículo del profesor berlinés, Clausius encontró algunas de las ideas que él mismo había estado madurando pero que no había publicado, probablemente, porque le parecían demasiado especulativas. En 1857, se decidió a elaborarlas y publicó un trabajo cuyo mero título: *Sobre la naturaleza del movimiento al que llamamos calor*, explicitaba de forma condensada el nuevo paradigma cinético-molecular. En dicho trabajo, Clausius generalizaba los modelos anteriores estableciendo que las partículas del gas podían tener sus velocidades dirigidas según direcciones arbitrarias en vez de moverse sólo según los ejes coordenados. Clausius supuso también de forma explícita que (para un gas en equilibrio térmico) la distribución espacial de las moléculas es homogénea y por lo tanto su densidad es la misma en todo el recipiente. También admitió que la distribución de velocidades de las partículas del gas es homogénea e isotrópica, de modo que si en cualquier lugar del recipiente tomásemos un elemento de volumen que contuviese un número suficiente de moléculas, encontraríamos que todas las direcciones de la velocidad estarían representadas con igual frecuencia.

Clausius, sin embargo, no llegará a establecer una hipótesis sobre la forma funcional de la distribución de las velocidades moleculares en el gas y, obviamente, no será capaz de calcularla explícitamente. Se limitará a afirmar que las moléculas de un gas tienen una distribución de velocidades bien definida (aunque él la desconozca). Más adelante necesitará suponer además que dicha distribución de es estrecha, es decir, que debe tener poca dispersión respecto del valor más probable. Por lo demás, Clausius nunca empleará un razonamiento de *tipo probabilístico*, razonando que a efectos del cálculo, puede sustituirse la desconocida distribución de velocidades por una velocidad promedio que se asigna a todas las moléculas

por igual, y que debe ser escogida de tal forma que la energía cinética total del sistema sea igual a la que correspondería a la verdadera distribución de velocidades. Otro gran avance respecto a sus predecesores consistió en suponer que las partículas del gas podían tener energía asociada a la rotación y vibración además de la asociada al movimiento de traslación. Clausius fue, por lo tanto, el primero en enunciar una teoría cinética de los gases ideales poliatómicos.

Las contribuciones de Clausius a la teoría cinética son relevantes aunque se quedase casi siempre en un nivel semi-cuantitativo. Sus hipótesis le permitieron rederivar la ecuación de estado de los gases ideales y obtener la primera evaluación cuantitativa de la velocidad de difusión.

Este último aspecto es importante porque implica un nuevo avance en el refinamiento del modelo cinético de un gas. El meteorólogo holandés C. H. D. Buys-Ballot (1817-1890) afirmaba que las velocidades de varios cientos de metros por segundo que la teoría cinética asignaba a las partículas de un gas en las condiciones usuales de laboratorio eran incompatibles con el lento proceso de difusión de un gas en el seno de otro. En efecto, tras abrir una botella de perfume en un rincón de una habitación, pasan varios minutos antes de que en la otra esquina se tenga constancia del olor. Pero durante este tiempo, las moléculas de perfume, estando animadas con las velocidades calculadas por la teoría cinética, tendrían que haber recorrido la distancia entre dichos lugares cientos de veces. Esta objeción no tenía en cuenta obviamente, el hecho de que las partículas de un gas se ven sometidas continuamente a procesos de colisión, cuyo efecto global es limitar su movimiento, convirtiéndolo en un proceso mucho más lento al que se da el nombre de difusión. La contribución más importante de Clausius a la teoría molecular del calor consiste en haber reconocido el papel fundamental que tienen las colisiones en la dinámica del gas. Él fue el primero en establecer una condición de caos molecular, esto es, una hipótesis sobre el número de colisiones que tienen lugar durante un intervalo de tiempo dado entre las partículas pertenecientes a dos grupos de velocidades diferentes que se encuentran en un determinado elemento de volumen. Esta idea, esencialmente idéntica a la famosa *hipótesis del caos molecular* (*Stosszahlansatz*) de Boltzmann, se convertiría en manos de éste en la noción esencial del tratamiento de la irreversibilidad en el marco de la teoría cinética. Al estudiar el efecto crucial de las colisiones en el proceso difusivo, Clausius reintrodujo y popularizó el concepto de *camino libre medio*, una magnitud asociada con la distancia que cabe esperar que recorra una partícula entre dos colisiones sucesivas. Este concepto llegaría a convertirse en una noción esencial en la teoría de los *fenómenos de transporte* en gases (difusión, conductividad térmica, viscosidad, etc.)

Las aparentemente ingenuas objeciones de Buys-Ballot ponen en primer plano otro aspecto importante de la resistencia al cambio de paradigma. Es evidente que la teoría de que los gases tienen una naturaleza corpuscular lleva implícita la idea de las colisiones interparticulares. Sin embargo, hasta el trabajo de Clausius, las colisiones de las partículas entre sí habían sido obviadas, incluso por aquellos que desarrollaron los modelos atomísticos; sólo las colisiones de las partículas con las paredes eran tenidas en cuenta como forma de explicar la presión del gas. Este hecho tiene sentido si pensamos que las primeras teorías cinéticas intentaban simplemente la fundamentación microscópica de las leyes de los llamados gases perfectos y, en este contexto, la introducción de las colisiones entre partículas no hacía sino obscurecer la

argumentación. Por otra parte, está claro que para los primeros proponentes de teorías cinético-moleculares, el problema mecánico implícito en el tratamiento de las colisiones era inabordable. Los argumentos de Buys-Ballot deben ser entendidos en el contexto de un modelo en el que no se han trabajado todavía los aspectos de detalle que se encuentran implícitos en las hipótesis de partida. Son precisamente estas objeciones las que hacen que el trabajo llevado a cabo para contestarlas termine por asentar la teoría y establezca sus límites de validez.

Los trabajos de Clausius añadieron un prestigio considerable a las ideas cinético-moleculares y prepararon el camino para que James Clerk Maxwell (1831-1879) utilizara su formidable capacidad para el tratamiento matemático y, tras citar a Bernouilli como el antecedente más antiguo de sus ideas, calculase explícitamente la forma funcional que tiene la distribución de velocidades de un gas monoatómico en equilibrio. Hay que decir, sin embargo, que antes de abordar su trabajo, Maxwell no estaba convencido de que las ideas cinético-moleculares tuvieran futuro. En una carta enviada a sir George Stokes el 30 de mayo de 1859, Maxwell le resumía el resultado de sus investigaciones sobre las ideas recién publicadas de Clausius:

He visto en el Philosophical Magazine de febrero de 1859, un artículo de Clausius sobre "el camino libre medio de una partícula de aire o gas entre colisiones sucesivas", bajo la hipótesis de que la elasticidad del gas se debe a la velocidad de sus partículas y de que la trayectoria de cada una de ellas es rectilínea excepto cuando llega a las proximidades de otra, sucesos a los que se denomina colisiones... Creo que sería conveniente examinar la hipótesis de partículas actuando unas sobre otras mediante impactos y compararla con los fenómenos que parecen depender de este "camino medio". Por lo tanto, he comenzado por el principio y he desarrollado la teoría de los movimientos y colisiones de partículas libres actuando sólo por impacto, aplicándola al problema de la fricción interna de los gases, de la difusión de los gases y de la conducción del calor a través de un gas (sin radiación)... No sé hasta donde se ajustarán estas especulaciones a los hechos, pero si no lo hacen es bueno saber que la teoría de Clausius (o más bien la de Herapath) es equivocada y como, en cualquier caso, me he encontrado capaz de deducir las leyes de movimiento de un sistema de partículas que interactúen entre ellas mediante impactos, lo he hecho como un simple ejercicio de mecánica.

Los primeros trabajos de Maxwell sobre teoría cinética, presentados por él intencionadamente en una forma que fuese independiente de las especulaciones sobre los gases, se publicaron en 1860 en el *Philosophical Magazine*. Paradójicamente, con ellos se cerró definitivamente la etapa de especulación más o menos semi-cuantitativa sobre la constitución molecular de los gases porque, lo que para Maxwell era un *mero ejercicio de mecánica*, cuya probable

consecuencia sería la refutación de las ideas y especulaciones de la teoría cinética, no sólo fundamentó dichas ideas sobre una base más firme, sino que estableció los fundamentos de la mecánica estadística actual. Puede decirse que aún hoy día cualquier libro de texto que explique los fundamentos de la teoría cinética de los gases comienza reproduciendo esencialmente el razonamiento maxwelliano.

Sin embargo, el aumento del crédito concedido a la teoría cinética tras los trabajos de Maxwell no se debió sólo a la elegancia y profundidad de los argumentos teóricos empleados por éste. Uno de los resultados de la teoría indicaba que la viscosidad y la densidad de un gas deben ser independientes y ello le sugirió a Maxwell un experimento crucial, porque la teoría alternativa afirmaba que la viscosidad debía de crecer cuando lo hiciera la densidad. El experimento en el que el propio Maxwell probó la constancia de la viscosidad de un gas cuando, manteniéndolo a temperatura constante, se varía la presión a la que está sometido, fue decisivo en la conversión de los científicos de la época a las ideas cinético-moleculares. A pesar de este resultado positivo, el propio Maxwell creyó haber encontrado argumentos cuantitativos que probaban que la teoría cinética no era correcta, por ejemplo, para explicar los calores específicos de los gases. No fue hasta 1875 que las medidas experimentales de Kundt y Warburg probaron la completa validez de las expresiones teóricas dadas por Clausius y Maxwell.

Es significativo que, a pesar del indudable reconocimiento que recibió el trabajo de Maxwell por parte de sus contemporáneos, la idea de que los cuerpos condensados estén formados realmente por átomos discretos no acabara de aceptarse de forma general hasta bien entrado el siglo XX. De hecho, las resistencias a la aceptación de esta imagen corpuscular jugaron un papel muy importante en los argumentos en contra de la idea de Ludwig Boltzmann (1844-1906) de fundamentar la irreversibilidad sobre bases puramente mecánicas. Las objeciones de adversarios de la talla de P. Duhem y E. Mach al trabajo de Boltzmann fueron, de hecho, los últimos intentos de minar el fundamento de las ideas cinético-moleculares. Lawrence Sklar ha puesto de manifiesto el hecho de que las objeciones de Duhem y Mach forman parte de una trama subyacente en la que se entremezcla lo que este autor llama la postura *fenomenalista-instrumentalista* con el rechazo a una teoría mecánica como última explicación de los fenómenos térmicos. Para los fenomenalistas-instrumentalistas, el propósito de la ciencia es la producción de generalizaciones que resuman en forma compacta y simple las regularidades fundamentales que existen entre los objetos de la experiencia observable. Claramente, esta postura es incompatible con el uso de unas entidades como las partículas microscópicas para explicar las regularidades del comportamiento termodinámico. El otro hilo de la trama es el razonamiento según el cual la mera existencia de los fenómenos ópticos, magnéticos o eléctricos habría probado de forma concluyente que el recurso a modelos mecánicos era posible sólo para una cierta porción del mundo físico. Hasta el trabajo de Einstein de 1905 sobre el movimiento browniano y la aplicación posterior de esas ideas a la determinación experimental del tamaño de las moléculas por Perrin, no tuvo lugar la definitiva formación del nuevo paradigma corpuscular. Hay que decir, sin embargo, que la polémica de Boltzmann con los energicistas a propósito del origen de la irreversibilidad, aunque no pusiera en tela de juicio directamente el modelo corpuscular sí llevó a un nuevo planteamiento del contexto en el que tienen sentido las viejas imágenes cinético-moleculares, y lo mismo puede decirse del desarrollo de las ideas cuánticas. El largo camino recorrido por las ideas atomísticas tras pasar

desde las brillantes intuiciones de Hermann y Bernouilli hasta los sofisticados razonamientos boltzmanianos aún no ha llegado a su fin, como lo prueba la polémica revisión de estas ideas llevada a cabo por Prigogine y la Escuela de Bruselas en los últimos años.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- S. G. Brush, *The kind of motion we call heat*, North Holland, Amsterdam, (1976).
- 2.- S. G. Brush, *Kinetic Theory*, 2 vols. Pergamon Press, Oxford, (1965).
- 3.- C. Cercignani, *Ludwig Boltzmann. The Man Who Trusted Atoms*. Oxford University Press. (1998).
- 4.- S. G. Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México (1971).
- 5.- G. Sarton, *Historia de la ciencia*, Ed. Universitaria, Buenos Aires, (1965).
- 6.- L. Sklar, *Physics and Chance. Philosophical Issues in the Foundations of Statistical Mechanics*, Cambridge University Press
(1993).
- 7.- C. Truesdell, *Ensayos de Historia de la Mecánica*, Tecnos, Madrid, (1975).