

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

TRABAJO DE AULA Y TRABAJO DE LABORATORIO. PROPUESTA PARA REPENSAR LOS PLANOS TEÓRICO Y PRÁCTICO A TRAVÉS DEL PÉNDULO DE FOUCAULT.

AGUSTÍN ADÚRIZ-BRAVO; LEONOR BONÁN;
CELIA DIBAR URE; MARÍA TERESA GAREA

Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria, Pabellón II, Aula 14.
CP 1428. Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN

En el marco de una asignatura del Profesorado en Ciencias Físicas (FCEyN, UBA), se produjo un material didáctico intitulado *El péndulo de Foucault. Propuesta de trabajo teórico-práctico*, dirigido a docentes secundarios. Este material explicita una secuencia didáctica para el aula y el laboratorio basada en la simulación del experimento histórico de Foucault (1851) y en la exploración de las ideas previas de los alumnos acerca de los referenciales no inerciales y los movimientos de la Tierra. Dicho material fue puesto a prueba en un *Microtaller sobre trabajo de laboratorio* (realizado en la FCEyN en julio de 1995), dirigido a docentes secundarios en actividad. Los participantes del taller realizaron una evaluación muy positiva del impreso.

ABSTRACT

In the framework of a subject of the Professorship in Physical Sciences (FCEYN, UBA), a didactic material entitled *The pendulum of Foucault* was produced. This theoretical – practical work proposal is directed to teachers of the secondary level. This material puts in a explicit basis a didactic sequence for the classroom and the laboratory, based on the simulation of the historical experiment of Foucault (1851) and in the exploration of the previous ideas of the pupils about a non inertial reference system and the movements of the Earth. Such material was tested in an mini workshop on laboratory work (accomplished in the FCEYN in July of 1995), directed to secondary teachers in activity. The participants of the workshop accomplished a very positive evaluation of the book.

1. INTRODUCCIÓN.

Presentaremos a continuación el resumen de una propuesta de trabajo teórico-práctico en física, cuyo formato original creemos adecuado e interesante para ser adaptado y llevado al aula

por docentes de todos los niveles. Definimos la naturaleza de dicho trabajo, lo inscribimos en el marco teórico que le da sustento, coherencia y justificación, y lo ubicamos en el contexto de

una asignatura del Profesorado en Ciencias Físicas (FCEyN, UBA), dentro de la cual fue ideado, producido y puesto a prueba en diferentes instancias.

El material fue elaborado en forma de cuadernillos *dirigidos al docente*, que incluyen ciertas actividades para el aula y el laboratorio, comentarios acerca de ellas, y sugerencias para llevarlas a la práctica en la realidad escolar. Tal material se centra en la *anécdota histórica del péndulo de Foucault*, pero explicita una forma de trabajo teórico-práctico transferible a prácticamente cualquier temática de física.

La presentación sumaria de este material contextualizado nos permitirá analizar con cierto detalle el concepto de *trabajo de laboratorio*, dándole una nueva vuelta de tuerca a la luz de enfoques que actualmente están en debate en el campo de la investigación en didáctica de las ciencias.

1.1. UNA NUEVA ASIGNATURA:

PROBLEMAS DEL APRENDIZAJE DE LA FÍSICA.

La renovación de la estructura del Profesorado en Ciencias Físicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, en marcha desde 1994, y claramente orientada a la preparación de recursos humanos con tres perfiles complementarios (docente en niveles medio y terciario, formador de formadores e investigador en didáctica de las ciencias), condujo a la organización de las asignaturas en bloques temáticos diferenciados:

1. *Área disciplinar*. Contenidos científicos específicos de la física, en asignaturas correspondientes a la Licenciatura.

2. *Área pedagógica*. Contenidos didácticos generales y especiales, en asignaturas compartidas con el resto de los profesados (en química, biología y computación).

3. *Área específica*. Contenidos, temáticas y discusiones particularizadas en la enseñanza-aprendizaje de la física en la escuela secundaria (y sus equivalentes en la nueva estructura educativa).

Es a este último bloque al que pertenece la asignatura *Problemas del Aprendizaje de la Física*, dentro de la cual se produjo el trabajo que aquí presentamos. Tal asignatura tuvo como columna vertebral el complejo y problemático concepto de *trabajo de laboratorio*, y sus funciones en las ciencias naturales.

Durante la cursada se revisó material bibliográfico, se difundieron líneas teóricas actuales, se analizaron diversas posturas y aportes de docentes con experiencia, y se trabajaron seis prácticas de laboratorio -tradicionales o novedosas- pero desde un enfoque repensado a través de aportes multilaterales, que incluyeron la utilización de diversos resultados de la investigación en didáctica de las ciencias. Las propuestas atravesaron distintas etapas y fueron finalmente evaluadas por docentes en actividad, que aportaron elementos para llevar el material difundido a las aulas.

1.2. LA PRODUCCIÓN DE LAS PROPUESTAS DE TRABAJO.

La consigna de partida para la elaboración del material fue la de seleccionar una práctica de laboratorio, tradicional o novedosa, y *desconstruirla* y repensarla a la luz de los elementos teóricos aportados por el resto de las asignaturas. Es decir, trasladar el acento desde lo *físico* (el *plano teórico*, aportado por el área disciplinar, dentro de la cual los alumnos ya habían realizado numerosas prácticas de laboratorio) hacia lo *didáctico* (el *plano metateórico*, aportado por el área específica, de corte multidisciplinar, con aportes de la psicología del aprendizaje y de la metodología de la enseñanza-aprendizaje). Tal consigna dio lugar a la elaboración de seis propuestas originales, de distinto formato y que tratan diferentes temáticas (registradas en Dibar Ure et al., 1995): sistemas de referencia no inerciales, comportamiento de los gases ideales, equilibrio estático, inducción electromagnética y su aplicación técnica, hidrostática, y densidad y flotación.

La propuesta particular titulada *El péndulo de Foucault* (desarrollada en Adúriz-Bravo y Bonán, 1995), asumió ciertas características interesantes que se reseñarán y ejemplificarán más abajo, basadas en: la simulación a escala de un experimento histórico; el rastreo de ideas del sentido común en astronomía y mecánica; el trabajo teórico y experimental de los referenciales inerciales y no inerciales; y la aplicación de contenidos teóricos de la didáctica de las ciencias a la realidad del aula

A pesar de que esta propuesta fue sufriendo diversas modificaciones a lo largo del curso, motivadas por sugerencias y comentarios de alumnos, docentes, colaboradores espontáneos y sujetos-prueba seleccionados, la versión final recibió su "bautismo de fuego" en la interacción

con profesores secundarios en actividad, que participaron de un *microtaller sobre trabajo de laboratorio* (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, julio de 1995).

1.3. LA PUESTA A PRUEBA: UNA FORMA DISTINTA DE EVALUAR.

Este taller para docentes fue específicamente organizado a los efectos de *difundir, evaluar y retroalimentar las seis propuestas elaboradas durante el curso de la asignatura*. Cabe agregar, además, que dicho taller funcionó como una de las instancias de evaluación de los alumnos cursantes de los *Problemas del Aprendizaje de la Física*. Tal reconfiguración del sentido de la evaluación final otorgó direccionalidad y originalidad a la propuesta académica.

Los diez docentes secundarios participantes se mostraron abiertamente interesados en el material escrito que se les entregó, y aportaron elementos críticos muy valiosos acerca de la factibilidad de su aplicación en el aula.

2. QUÉ ES EL TRABAJO DE LABORATORIO EN FÍSICA.

Lo que se puede constatar en una breve revisión bibliográfica acerca del trabajo de laboratorio es que, a pesar de que existe un tratamiento teórico muy rico del tema desde la didáctica (Tricárico, 1985; Gil-Pérez y Payá, 1988; González, 1992; Hodson, 1994; ...), existen aún vacíos conceptuales en forma de intersticios a explorar.

En este apartado intentaremos una muy somera revisión de las discusiones acerca de esta temática, desde lo que se trabajó en la asignatura y desde lo que aportaron los asistentes al taller.

2.1. LAS TRES VARIABLES.

Cuando se habla de trabajo de laboratorio, tanto en el discurso como en la acción se confunden tres variables (dadas por pares de conceptos opuestos), sin explorar toda la riqueza de las combinaciones que conlleva el considerarlas independientes. Los abordajes tradicionales para la enseñanza de la física en la escuela presuponen que *trabajo práctico, trabajo experimental y trabajo de laboratorio* son prácticamente sinónimos, entre otras cosas porque el término

teoría, al cual estas expresiones pretenden oponerse, asume diferentes significados sin que se haga explícito el salto de contexto entre uno y otro. Las tres expresiones presentadas, sin embargo, tienen referentes bien distintos:

1. *Teoría versus práctica*. Una de las diferencias entre comprender y transferir (signo de haber aprendido) está sustentada en la diferencia entre las habilidades y destrezas cognitivas de dos tipos: conceptuales y procedimentales. Hace falta *practicar* la teoría que se quiere incorporar significativamente. Teoría, en este contexto, funciona como sinónimo de contenido conceptual (ver un tratamiento más detallado en Coll et al., 1992). *Trabajo práctico*, entonces, remite a la estimulación de habilidades y destrezas que permiten afianzar los conceptos teóricos a través de su utilización.

2. *Teoría versus experimentación*. En este caso, el uso del término *teoría* difiere del anterior, ya que refiere a uno de los aspectos del funcionamiento de las ciencias naturales. Si lo comparamos con el uso anterior, podríamos decir que *existen una teoría y una práctica del campo teórico y del campo experimental*. *Trabajo experimental*, entonces, remite a una de las dimensiones epistemológicas de la actividad científica.

3. *Trabajo de aula y trabajo de laboratorio*. No todo el trabajo de laboratorio es práctico, ni todo es experimental (Hodson, 1994). Por otra parte, se puede realizar trabajo práctico y experimental en el aula.

2.2. APRENDIZAJE DE CONCEPTOS, DE PROCEDIMIENTOS Y DE ACTITUDES.

El aprendizaje de la física en la escuela secundaria, según ciertas posiciones didácticas, debería tener un marcado carácter *instrumental*: se reconoce una importancia similar al aprendizaje de la estructura conceptual de la física y al aprendizaje de los llamados procedimientos y actitudes científicas en general.

Esta concepción es uno de los pilares del trabajo de laboratorio: según esta visión, no es demasiado importante *qué* prácticas específicas se llevan a cabo en el laboratorio, sino *cómo* se realizan estas prácticas con el objeto de estimular el desarrollo de capacidades y aptitudes científicas experimentales en los alumnos (esta posición teórica es examinada y discutida en Gil-Pérez y Payá, 1988).

2.3. TEORÍA O EXPERIMENTACIÓN: ¿CUÁL ES PRIMERO?

Una visión diferente de la que se expuso en el párrafo anterior, postula que el trabajo de laboratorio funciona como "validador" o justificador (en alguna instancia) del trabajo de aula. Dicha justificación empírica puede producirse antes o después del tratamiento teórico de un tema. Ambas cronologías poseen sus adeptos y sus detractores (ver una revisión en González, 1992).

En todo caso, interesa señalar algunos peligros que conlleva cada una de ellas:

1. Si la teoría se presenta *antes* de la experimentación, suele existir una fractura insalvable entre el nivel de abstracción de la teoría enseñada y el nivel de concreción de la práctica propuesta. Es necesario un conjunto de actividades mediadoras que conecten a la práctica con la teoría a través, por ejemplo, de las situaciones de la vida diaria, para evitar la desvinculación de ambas en la comprensión del alumno.

2. Si la teoría se presenta *después* de la experimentación, se suele imponer la exigencia adicional de que la teoría se siga lógica y metodológicamente de la práctica. Tal visión epistemológicamente pobre propende a un tratamiento inductivo ingenuo, en el cual la práctica carece de direccionalidad y de sustento conceptual. El alumno, en casos extremos, se limita a seguir una receta impresa vacía de justificación.

Es de destacar que el hecho de presentar la teoría antes o después de la experimentación, con un buen sustento didáctico, no condiciona la calidad de los aprendizajes finales. La elección de una u otra modalidad debería basarse en razones de contexto, y ambas modalidades pueden alternarse provechosamente a lo largo de un curso.

2.4. EL EQUIPAMIENTO Y EL LUGAR FÍSICO.

El equipamiento de una sala de laboratorio completa y moderna suele presentarse como condición *sine qua non* para iniciar el trabajo experimental. Como tal situación ideal se presenta pocas veces en la realidad educativa actual de nuestro país, la disfunción es utilizada como coartada por muchos docentes para justificar la ausencia del trabajo experimental en sus

propuestas.

Ante tal diagnóstico, conviene recordar que el trabajo experimental puede realizarse en el aula u otros lugares poco preparados, y con materiales de bajo costo, incluso caseros. El laboratorio como lugar físico separado y completamente equipado es la más alta aspiración en el trabajo en ciencias naturales, pero *en sí mismo no garantiza un buen aprendizaje*: éste se apoyará más bien en la riqueza de la propuesta que el docente formule con los elementos del laboratorio, propuesta que articulará las variadas relaciones de los alumnos con el material, el conocimiento y el propio docente.

Vale remarcar que la característica que configuró a las seis propuestas elaboradas durante el curso de la asignatura como originales y atractivas en la visión de los docentes visitantes, fue la elección de los materiales accesibles y de bajo costo (que van desde tenedores, jeringas descartables y latas vacías para ilustrar los conceptos de *equilibrio*, *presión e inducción*, hasta un tocadiscos convencional para simular el péndulo de Foucault).

2.5. LOS MIEDOS DEL DOCENTE EN EL LABORATORIO.

La razón más fuerte que los participantes del taller adujeron a la hora de justificar su escasa presencia en el laboratorio, fue un "miedo" a la situación en sí misma que aparece de la combinación de varios factores:

1. El hecho de que los docentes desean realizar por sí mismos la práctica antes de presentarla a sus alumnos, y en la mayoría de los casos no pueden hacerlo por falta de tiempo.

2. La desorganización general que introduce el traslado de los alumnos a una situación distinta en la que el docente no puede mantener el control total.

3. La sensación de "pérdida de tiempo" que experimenta el docente al no poder satisfacer las demandas de todos los grupos por no contar con ayuda calificada y numerosa.

4. La descentración del rol tradicional del docente como depositario de los saberes, en un entorno en el que aparecen preguntas acerca de multitud de temas de tec-

nología que vienen aparejadas con el contacto con el mundo real (el "laboratorio grande").

5. Las prácticas que "no salen" (habría que decir, para ser más rigurosos, que "salen distinto de lo esperado"). Este último factor fue el más destacado por los participantes durante las discusiones.

Tricárico (1985) presenta un análisis agudo de la realidad argentina utilizando algunos de los organizadores teóricos de los puntos 2.4 y 2.5.

3. EL PÉNDULO DE FOUCAULT.

PROPUESTA DE TRABAJO TEÓRICO-PRÁCTICO.

Enriquecidos por una serie de reuniones previas en las que se trataron y discutieron con docentes y alumnos las temáticas reseñadas en el apartado anterior, dos de los alumnos de la asignatura concebimos, elaboramos y produjimos un material escrito, de 30 páginas, cuyo título es el de este apartado. La idea, en lo que sigue, es historizarlo, justificarlo didácticamente, y, por último, presentar ejemplos extraídos del original.

3.1. DE DÓNDE SURGE LA IDEA.

La idea disparadora de nuestra propuesta implicó la combinación de tres elementos que se manejaron como posibles organizadores de la tarea en el momento de comenzar a materializar la consigna de la asignatura:

1. El problema del *orden de aparición entre teoría y práctica (experimental)* en la enseñanza de las ciencias naturales, que es sin duda el punto central de discusión en la mayoría de los enfoques teóricos acerca del trabajo experimental de laboratorio (cf. 2.3).

2. La *operación de desconstrucción de la práctica*, que implica separar todas las variables relevantes y rastrear todas las articulaciones pertinentes necesarias para que una propuesta de laboratorio llegue a buen puerto.

3. Una anécdota acerca de la problemática histórica del *péndulo de Foucault* y su relación con las ideas del sentido común sobre la esfericidad, tamaño y movilidad del planeta Tierra.

Así es que se decidió producir una propuesta con componentes teóricas y experimentales (cf. 2.1.2), que articulara la teoría con la prácti-

ca (cf. 2.1.1), y que pudiera realizarse tanto en el aula como en el laboratorio (cf. 2.1.3). De estas consideraciones surgió la particular elección del nombre de *propuesta teórico-práctica*, para enfatizar que el trabajo de laboratorio puede y debe sustentarse en lo teórico, y que las dimensiones de teoría y experimentación interjuegan sin que sea tan fácil poder establecer un orden cronológico entre ambas.

3.2. LA JUSTIFICACIÓN DIDÁCTICA.

(Adaptada del material original)

La plataforma teórica que otorga coherencia a nuestra propuesta de trabajo está sustentada principalmente en tres líneas de investigación diferentes, pero articuladas en la concepción anteriormente presentada de desconstrucción de la práctica de laboratorio:

1. La teoría del *aprendizaje significativo* de Ausubel (1976). En particular, en lo que hace a los conceptos teóricos de *organizador anticipante* y *conceptos inclusores*.

El organizador anticipante es una visión de conjunto (materializada a través de una actividad) que prepara al alumno para la nueva información a recibir, motivándolo y dejándole atisbar la *significatividad* lógica y psicológica del contenido que va a aprender. El organizador anticipante debe dejar claras la *intencionalidad* y *direccionabilidad* del proceso de enseñanza-aprendizaje. Nuestra propuesta trabaja con distintos organizadores previos escalonados, que se van articulando de modo que cada etapa del trabajo resignifica la anterior y prepara para la siguiente.

Los conceptos inclusores son conceptos que posee el alumno y que permiten la adquisición significativa de la nueva información. Nuestra propuesta trabaja intentando activar continuamente esos inclusores en el alumno, haciéndolos concientes y verbalizados, enfatizando las relaciones horizontales y verticales entre conceptos, y favoreciendo la conexión con la vida diaria.

Para una discusión más detallada de estos conceptos, puede consultarse con provecho a Moreira (1993).

2. El concepto de *nociones alternativas*, de fuerte incidencia en la investigación didáctica reciente (Driver et al., 1989), que postula que existen en el alumno ideas erróneas desde la lógica disciplinar del paradigma vigente, que

obturando continuamente la adquisición de nueva información. El trabajo continuado e intensivo sobre las ideas previas de los alumnos pretende ser una guía y un apoyo para el docente en la detección de estas concepciones alternativas. Un enfoque múltiple, integrador y realista, por otra parte, puede resultar de gran ayuda para atacar algunas de las incompatibilidades y de los conflictos que se presentan cuando se deja al alumno elegir entre lo académico y lo intuitivo, en el más que dificultoso camino del *cambio conceptual*.

3. La idea de trabajo práctico y trabajo de laboratorio como dos constructos separados que pueden combinarse, pero que no son lo mismo, fundamentada en un trabajo de Hodson (1994). Este autor propone una reconceptualización del *trabajo práctico de laboratorio*, como comúnmente se lo llama, desde múltiples perspectivas, que engloban:

- sus distintas *finalidades*: la motivación, la enseñanza de técnicas y de conceptos, y el desarrollo de habilidades y actitudes (cf. 2.2).

- y sus diferentes *aspectos*: el aprendizaje de la ciencia, el aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia, y la práctica de la ciencia (cf. 2.2).

3.3. EL PROCESO DE PRODUCCIÓN.

Una vez seleccionados los organizadores de la tarea (cf. 3.1) y los conceptos teóricos sostén (cf. 3.2), se procedió a una minuciosa descomposición del artefacto conocido como *péndulo de Foucault*, para rastrear detrás de él las líneas teóricas y prácticas que se articulan y conjugan para configurarlo como una temática relevante en el currículo de enseñanza media (ver el tratamiento que se hace del tema en Castiglioni, Perazzo y Rela, 1991, y en Maiztegui y Sábado, 1988). Tal descomposición demandó dos meses de intenso trabajo.

Las etapas por las que atravesó este trabajo determinaron, en buena medida, el formato final organizado en cuadernillos interdependientes que permiten la articulación longitudinal y transversal (ver 3.5):

1. El rastreo de los ejes temáticos, los núcleos conceptuales y los pre-requisitos necesarios para teorizar y modelizar el fenómeno.

2. La confección de un material novedoso y atractivo para el alumno, para detectar, clasificar y atacar preconcepciones e

ideas previas.

3. La propuesta de la práctica de laboratorio apropiadamente dicha, materializada con elementos de bajo costo, preferiblemente caseros.

4. Las diferentes transformaciones que se le pueden efectuar a la propuesta nuclear, que fue dejada muy abierta *ex profeso*.

3.4. LA EVALUACIÓN DEL MATERIAL.

La evaluación de proceso de las sucesivas versiones preliminares (o "borradores de trabajo") de la propuesta se realizó en tres etapas diferenciadas:

1. La evaluación por parte de las docentes y los compañeros de la asignatura, que en general derivó en una descomposición mayor de las temáticas, con el consecuente aumento de la especificidad y profundidad de la propuesta.

2. Las reacciones y formas de relación que se registraron al someter el material a la consideración de distintos sujetos (de 8 a 70 años de edad), voluntarios convocados o colaboradores espontáneos. Esta segunda etapa redundó en una mayor concreción y depuramiento del lenguaje, en la inclusión de más figuras y explicaciones, y en la discriminación más detallada de la propuesta de acuerdo al nivel educativo (desde el primario hasta el preuniversitario).

3. La evaluación final, por parte de docentes secundarios en actividad (cf. 1.3), que, aunque no introdujo modificaciones al material impreso, redimensionó su implementación en futuros cursos de divulgación y capacitación. Algunos de los comentarios al respecto se presentarán en las conclusiones.

3.5. EL FORMATO DE LA VERSIÓN ORIGINAL.

La versión original, tal cual fue entregada a los docentes participantes del taller, consta de cinco cuadernillos:

1. *Apuntes teóricos*. En él se explicitan los pre-requisitos necesarios para abordar el tema con más comodidad, y se hace una presentación detallada de los elementos teóricos pertinentes, que pretendió ser rigurosa desde el lenguaje disciplinar, pero a la vez más atractiva y amena. Allí se presentan conceptos tales como la dinámica de los sistemas inerciales y no inerciales, las fuerzas ficticias, el *efecto Coriolis* y

los movimientos de la Tierra.

2. *Ideas previas.* En él se exploran las nociones alternativas de los alumnos mediante cuestionarios basados en ejemplos de la vida diaria. Luego se advierte al docente acerca de estas nociones alternativas y su posible tratamiento. Se tratan situaciones problemáticas cercanas al alumno (el colectivo, el lavarropas, la calesita), intentando explicarlas con pequeñas experiencias caseras, como usar un tocadiscos para lograr una comprensión intuitiva del efecto Coriolis.

3. *Práctica de laboratorio.* Se propone una simulación a escala del péndulo de Foucault como nudo de convergencia de las diversas temáticas tratadas. No son necesarios materiales ni equipamientos sofisticados o costosos. Se comparan las trayectorias del péndulo desde el sistema fijo y el sistema rotante, y se utiliza la comparación para "deducir" a partir del comportamiento del péndulo de Foucault el movimiento de rotación de la Tierra.

4. *Propuesta de actividades.* Se articulan los materiales presentados en los tres cuadernillos anteriores en diferentes paquetes, para los distintos niveles y modalidades educativas, y permitiendo variados enfoques. Los niveles abarcan desde el primario (3^{er} ciclo de EGB) hasta el preuniversitario (CBC).

5. *Consejos.* Se justifica todo el trabajo desde la plataforma didáctica, proponiendo al docente repensar su acceso al laboratorio, con todo lo que éste implica. Los elementos teóricos pretenden ser una "bajada" realista de los modelos constructivistas.

En el **Anexo** se presenta el Cuadernillo 2, para que el lector pueda hacerse una idea del formato propuesto.

4. UN EJEMPLO EXTRAÍDO DEL ORIGINAL.

En este apartado nos proponemos aplicar sucintamente las categorías teóricas del punto 2 a la realidad de la propuesta en particular, extrayendo de ella ejemplos textuales.

4.1. EL TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES.

El aprendizaje de la disciplina llamada física requiere la *articulación compleja de distintos modos de abordar la realidad natural*. Muchas

veces se identifica a la física, en el nivel secundario, con despejar variables-incógnitas a partir de variables-datos en una fórmula. El lenguaje natural de expresión para la física es la matemática, pero en la enseñanza media *son pocos los aportes conceptuales que brinda el uso de esta herramienta tan poderosa si no están sustentados en una sólida comprensión de las bases conceptuales del análisis funcional*.

Una de las discusiones intrínsecas a la disciplina es la identificación de las variables relevantes para abordar un problema. Creemos que el docente debería graduar la introducción de esta forma de pensar, y hacerla explícita más allá del tema puntual que está enseñando. De esta manera, vislumbrando la compleja relación entre las variables, el alumno se acerca al significado de un *modelo físico* (o científico en general). Cómo identificar la acción de las variables y la medida en la que éstas influyen es, a nuestro juicio, la situación que debería facilitar el docente (ver lo que dicen al respecto Inhelder y Piaget, 1972).

En la propuesta que elaboramos, nos valimos de una realidad compleja: estudiar las evidencias de los movimientos terrestres, desde un hecho histórico, la construcción del péndulo de Foucault, y a través de la simulación y de la transferencia a otras situaciones. Para ello, adoptamos un modo de trabajo:

1. *Cuestionario previo:* relevamiento de variables e hipótesis personales.

2. *Discusión en grupos:* interacción entre pares, confrontación de hipótesis, trabajo con material concreto, selección de variables, interpretación de pequeñas simulaciones.

3. *Análisis de material teórico:* propuesta organizadora, presentación de conflictos, lenguaje disciplinar.

4. *Articulación de las variables parciales:* estimación de su influencia en distintas situaciones propuestas, superposición y reversibilidad.

5. *Práctica de laboratorio:* simulación integradora.

(Comparar con la estructura de cuadernillos, presentada en 3.5: cada uno de ellos aborda el tratamiento de estos cinco ejes y sus relaciones.)

4.2. CONTENIDOS CONCEPTUALES, PROCEDIMENTALES Y ACTITUDINALES.

Paralelamente a la construcción de los conceptos, el alumno adquiere los procedimientos,

en un proceso gradual, a partir de las tareas que le plantea el docente. Estas tareas deben estar escalonadas para que el alumno se sienta cómodo en la resolución y no pierda el interés. Las actitudes, por otra parte, están contempladas en la propuesta global del docente de no perder conexión con la realidad. Los hechos cotidianos convocan a los alumnos haciendo más valioso el aprendizaje.

4.3. EL ORDEN ENTRE TEORÍA Y EXPERIMENTACIÓN.

Resulta un ejercicio interesante para el docente preguntarse acerca del orden adecuado entre teoría y experimentación. Como dijimos antes, supone identificar ventajas y desventajas de una y otra propuesta, y abordar este tema con aportes de la historia de la ciencia, la epistemología y la didáctica. En nuestra forma de verlo, ambas sólo pueden concebirse en forma integrada, ya que, desde la estructura disciplinar, se resignifican mutuamente. En la enseñanza media este tratamiento no debería ser diferente: lo que cambia es la magnitud del abordaje y su grado de abstracción.

4.4. EL LABORATORIO ÚLTIMO MODELO.

Estamos atravesando un período desconcertante con respecto a las innovaciones tecnológicas; las posibilidades son ilimitadas: computadoras, sensores, interfases, ... Pero la física que circula por las aulas no necesita de un reactor nuclear para hacer una práctica de laboratorio. Pasando por las particularidades de cada ámbito, creemos que es factible efectivizar propuestas con materiales de bajo costo para explorar temáticas presentes en el currículo. En lo que respecta al lugar físico, el laboratorio es útil pero no imprescindible: tomando los recaudos necesarios, muchas veces el aula puede servir de escenario.

Nuestra propuesta contempla estas consideraciones en dos sentidos: primero, no demanda un espacio físico especialmente equipado; y, segundo, trabaja con elementos de entrecasa o fácilmente accesibles (ver 4.6).

4.5. REPLANTEAR EL ROL DOCENTE.

Una de las dificultades del trabajo de laboratorio es que los alumnos se vuelven "preguntones", y sus inquietudes a veces superan las

situaciones planificadas por el docente. Un buen ejercicio democrático es proponer la investigación conjunta por parte de docentes y alumnos de los posibles interrogantes.

Lo mismo cabe decir de las prácticas que "no dan" (en un esquema conductista de infalibilidad y refuerzo). Todas las prácticas dan, y tienen algo interesante que decir, cuando se las analiza desde un marco teórico del trabajo experimental (teoría de errores, sistemas cerrados y aislados, aproximación y simplificación, concepto de modelización).

Nuestro acceso al tratamiento de estas dos problemáticas se apoyó en dos "virtudes" del artefacto seleccionado. Primeramente, se trata de un problema cuya complejidad es enorme incluso para la física académica, que no tiene para él una solución exacta "prefabricada". Esto desplaza del docente la responsabilidad de tener que aportar una respuesta cerrada y definitiva, propendiendo a un tratamiento provisional y aproximativo, que puede ser extendido a otros dominios de la física. Por otra parte, el *péndulo de Foucault* convoca a infinidad de relaciones con otras situaciones similares o incluso aparentemente lejanas (ver el ejemplo del Anexo), que no pueden haber sido pensadas y previstas por el docente de antemano. Así se tiende a una participación activa de la clase en la cual cada alumno puede aportar relaciones conceptuales pertinentes y valiosas.

4.6. FINALMENTE: ¡EL EJEMPLO!

A fin de presentar un ejemplo que resultara a la vez compacto e ilustrativo, decidimos aislar algunas líneas de interés y extraer su desarrollo longitudinal a lo largo de los cinco cuadernillos. El núcleo constructivo de la propuesta es la recreación del dispositivo mecánico ideado para mostrar la rotación de la Tierra:

En 1851, el físico y matemático francés Jean Bernard Léon Foucault suspendió con un cable una bala de cañón desde lo alto de la cúpula del Edificio de los Inválidos (les Invalides), en París. El plano de oscilación de este péndulo de 67 metros de longitud giraba lentamente en sentido horario, y la amplitud de oscilación variaba con el ángulo. En el suelo, y mediante una cuerda suspendida de la bala, se formaba sobre arena una complicada figura (llamada roseta), inscrita en una elipse.

En el tercer cuadernillo, se le propone al

docente una *simulación* a escala de la experiencia histórica del péndulo de Foucault que explore simultáneamente las problemáticas de los sistemas rotantes y de la Tierra en movimiento. El montaje experimental consiste en un péndulo tradicional de laboratorio con su soporte fijo a una plataforma rotante (que puede ser reemplazada por una bandeja giratoria, un torno de ceramista, un tocadiscos, ...):

Se pone el péndulo en oscilación, y luego la plataforma en movimiento (...). Se observan las oscilaciones para diferentes velocidades de rotación. El péndulo puede ser observado contra un fondo fijo, para ver más claramente la invariancia del plano de oscilación respecto del sistema inercial. La trayectoria desde el sistema no inercial exige más imaginación y paciencia. Puede pedirse a los alumnos que diseñen algún dispositivo o artefacto que permita registrar la roseta sobre la plataforma.

Posteriormente, una *Propuesta de Actividades* acerca de los movimientos de la Tierra le pregunta al alumno:

¿Y cómo podés saber que la Tierra rota, y que no son los astros los que giran alrededor de ella? ¿Armstrong (el primer hombre en la Luna) fue también el primero en verificar la rotación de la Tierra?

Para lo cual nosotros proponemos al docente algunas respuestas tentativas:

Todo dependerá de nuestra concepción de "comprobar". Gagarin (!?) es el primer ser humano que comprueba por observación directa la rotación de la Tierra. Pero da la casualidad de que es este problema, justamente, el que lleva a Foucault a planear y llevar a cabo su experimento cien años antes. (Para discutir: El péndulo de Foucault, ¿es una comprobación del movimiento de la Tierra??)

En el quinto cuadernillo, siguiendo con el tema de la rotación de la Tierra, se le propone al docente que incite al alumno a la *reflexión metacognitiva* (acerca de su propio aprendizaje) a través de una

Pregunta: Aristóteles, para explicar la composición de los movimientos, acudía al ejemplo de la piedra arrojada desde lo alto del mástil de un barco en movimiento: la piedra cae junto a la base del mástil, y no siguiendo la vertical. Sin embargo, la piedra no cae junto al mástil, sino un poco desviada (si el mástil se supone gigan-

tesco, como se presenta en Castiglioni, Perazzo y Rela, 1991: 179). ¿Por qué?

con su respectiva

Respuesta: Por la fuerza de Coriolis (fácil). Pero, ¿cuál es la explicación física? Es que, antes de comenzar a caer, participa junto con el mástil del movimiento de rotación de la Tierra. Pero, por composición, al comenzar a caer ya está dotada de la velocidad lineal del extremo del mástil, en la dirección y sentido del avance de la Tierra (O a E). Como mantiene esa velocidad lineal, se adelanta hacia el este respecto del mástil, que mantiene, como buen sólido rígido, su velocidad angular, y, por lo tanto, tiene su base rotando a menor velocidad lineal que su extremo superior (recuérdese que la velocidad lineal es proporcional al radio de giro).

Esta forma de trabajo, que permite articulaciones verticales (a través de los cuadernillos) y horizontales (entre los distintos temas tratados), propende a la convergencia de los diferentes hilos temáticos trabajados, de modo de otorgar sustento a la práctica desde la teoría, y significado a la teoría desde la práctica.

5. A MODO DE CONCLUSIÓN.

El objeto de la elaboración de este material fue doble: él constituyó una instancia académica en la que los autores debieron articular diferentes aportes recogidos durante su formación en una propuesta acotada, pero *manteniendo siempre en vista que el producto de este trabajo de reflexión debía satisfacer demandas reales de docentes en actividad*. Consecuentemente, la evaluación más fuerte del material la constituyó el *Microtaller* durante el cual los docentes secundarios participantes vivenciaron la aplicación de los cuadernillos y realizaron un comentario crítico de los mismos.

Es de destacar que todos los docentes asistentes al *Microtaller* eligieron la propuesta del *Péndulo de Foucault* entre las dos por las cuales podían optar. Los docentes confesaron, durante el trabajo y en la discusión posterior, haberse sentido amedrentados inicialmente por la enorme complejidad de la temática anunciada (*referenciales no inerciales*); sin embargo, aseguraron que, a poco de iniciado el trabajo conjunto, se vieron convocados por la propuesta de los cuadernillos, en varios sentidos:

1. La propuesta exploraba hasta qué

punto ellos manejaban el tema, resignificando los saberes previos sin hacer pesar las ausencias conceptuales.

2. Cada uno de los hilos temáticos rastreados se revisaba con exhaustividad, relacionándolo con numerosos ejemplos de la física y anécdotas de la vida cotidiana.

3. Había un importante espacio para la producción personal y la discusión de los núcleos conceptuales, que dejó una impresión dinámica y abierta de la investigación científica.

4. Los cuadernillos contenían gran cantidad y variedad de material que podía ser seleccionado, reordenado, transformado y ampliado por los docentes para ajustarse a distintas situaciones contextuales.

La evaluación general de los docentes participantes fue muy positiva, en el siguiente sentido: *los cuadernillos proveían material para trabajar y pensar sin convertirse en una receta cristalizada y a la cual el docente debe someterse esperando los resultados más efectistas y temiendo los fracasos más estrepitosos.*

La innovación, entonces, se produjo con una propuesta que acompaña pero no sofoca a quien la pondrá en acción: más allá (o más acá) de los aportes teóricos de la didáctica de las ciencias, las prescripciones didácticas aisladas y descontextualizadas no suelen ser viables, pues son ajenas al docente que las llevará a la práctica. En este sentido, la componente *heurística* que aporta cada profesor a la propia planificación es lo que justifica el valor de una propuesta novedosa, y como tal, criticable y perfectible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Adúriz-Bravo, A. y Bonán, M.L. (1995). **Propuesta de trabajo teórico-práctico. El péndulo de Foucault.** Mimeo: Cefiec, FCEyN, UBA.
- Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H. (1976). **Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo.** (México: Trillas)
- Castiglioni, R., Perazzo, O. y Rela, A. (1991). **Física 4°.** (Buenos Aires: Troquel)
- Coll, C., Pozo, J.I., Sarabia, B. y Valls, E. (1992). **Los contenidos en la reforma. Enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes.** (Madrid: Santillana)
- Dibar Ure, C., Garea, M.T. y alumnos (1995). **Trabajo práctico de laboratorio, o cómo abrir las puertas de la facultad.** Presentación mural en la 80° Reunión de la AFA; San Carlos de Bariloche, octubre de 1995.
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1989). **Ideas científicas en la infancia y la adolescencia.** (Madrid: Morata)
- Gil-Pérez, D. y Payá, J. (1988). "Los trabajos prácticos de Física y Química y la metodología científica" en **Revista de Enseñanza de la Física**, 2 (2), pp.73-79.
- González, E. (1992). "¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos?" en **Enseñanza de las Ciencias**, 10 (2), pp.206-211.
- Hodson, D. (1994). "Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio" en **Enseñanza de las Ciencias**, 12 (3), pp.299-313.
- Inhelder, B. y Piaget, J. (1972). **De la lógica del niño a la lógica del adolescente.** (Buenos Aires: Paidós)
- Maiztegui, A. y Sábato, J. (1988). **Introducción a la Física 1.** (Buenos Aires: Kapelusz)
- Moreira, M.A. (1993). "La teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel" **Fascículos del CIEF, Serie Enseñanza-Aprendizaje n° 1;** Porto Alegre.
- Tricárico, H. (1985). "Física, ¿enseñanza experimental?" en **Revista de Enseñanza de la Física**, 1 (1), pp.26-29.

ANEXO.
TEXTO DEL CUADERNILLO 2 DE EL PÉNDULO DE FOUCAULT.
PROPUESTA DE TRABAJO TEÓRICO-PRÁCTICO.
(Las figuras no se incluyen)

1. Introducción.

Es un hecho bien conocido por los docentes que las *ideas previas* que sus alumnos poseen sobre ciertos temas científicos pueden resultar un factor que obstaculiza la adquisición de nuevos conceptos.

De ahí la importancia de rastrear y detectar estas ideas, para saber el lugar desde el cual se parte y al cual los alumnos regresan constantemente durante la adquisición de nuevas ideas. En este trabajo, englobaremos bajo el rótulo de ideas previas a, por lo menos, tres clases de conceptos (si las ideas previas son erróneas y persistentes, se las suele llamar *nociones alternativas*):

- 1- Las teorías ingenuas, intuitivas y espontáneas de los alumnos acerca de la mecánica (por ejemplo, que, para que exista movimiento, es necesaria una fuerza).
- 2- Las ideas que adquieren por su exposición continua a los medios de comunicación (aquí entraría la noción de *divulgación científica*).
- 3- La superposición de conceptos que les quedan de cursos o temas anteriores, superposición que puede estar estructurada coherentemente o ser una suma confusa de ideas más o menos arraigadas.

(Conviene aclarar que docentes e investigadores tampoco estamos exentos de estas nociones alternativas tan fuertes, que suelen aparecer incluso en libros de texto.)

Seguidamente, proponemos un cuestionario dividido en bloques, para aflorar ideas previas en los alumnos.

La forma de trabajo sugerida es la siguiente:

- Contestar en grupos de tres o cuatro alumnos, cada bloque por separado.
- Discutir en plenario, bloque por bloque.
- Llegar a un consenso mínimo, después de cada bloque.
- Hacer esquemas en el pizarrón para cada bloque.
- Integrar todos los bloques en un resumen o idea global.

En la puesta en común de cada bloque del cuestionario, el docente y los alumnos construyen, consensuando, un conjunto de ideas comunes y de esquemas "oficiales", acompañados de una serie de pequeñas experiencias concretas que redondean cada idea.

El cuestionario que sigue tiene la siguiente estructura:

- Cuatro bloques temáticos:
 - **Bloque 1.** Inercia de las traslaciones.
 - **Bloque 2.** Inercia de las rotaciones.
 - **Bloque 3.** Movimientos de la Tierra.
 - **Bloque 4.** La Tierra como referencial no inercial.

- Cada bloque consta de: *preguntas* para los alumnos; *respuestas* sugeridas para organizar al docente en la tarea de consensuar; algunas *respuestas erróneas* posibles, del tipo de las nociones alternativas; *actividades* concretas para resignificar las respuestas de consenso; y *conceptualización* final como marco integrador ("lo que debería llevarse el alumno").

Nuevamente queda para el docente la libertad de decidir qué bloques considera conveniente trabajar, y con qué nivel de profundización.

2. Cuestionario de ideas previas.

Bloque 1.

Preguntas.

(1) Supongamos que tenemos dos observadores para describir una misma situación física. Uno de ellos (O) está ubicado en la vereda, y el otro (O'), sentado y bien agarrado dentro de un colectivo. Si el colectivo frena de repente,

- (a) ¿qué sucede con un pasajero que no está agarrado? ¿cómo se mueve?
- (b) ¿Podés explicar qué quiere decir *frenar de repente* en términos cinemáticos?
- (c) ¿Y en términos dinámicos?
- (d) ¿Cómo describiría esta situación O' desde adentro del colectivo? Hacé un esquema, precisando el sentido de movimiento del pasajero y del colectivo.
- (e) ¿Cómo la vería O desde afuera, mirando desde la vereda? Hacé un esquema, precisando los sentidos de movimiento.
- (f) ¿Qué diferencia encontrarás entre una y otra visión del mismo hecho?

Respuestas.

(a) Durante la frenada, el pasajero, desligado del piso, tiende a seguir por inercia en un MRU, por lo cual sale "disparado" hacia el parabrisas.

(b) Frenar significa oponer una aceleración a la velocidad (vectoriales). Una frenada brusca implica un módulo de aceleración muy grande.

(c) La frenada brusca implica la aparición de una fuerza (grande en módulo) opuesta al sentido de movimiento. Esta fuerza actúa sobre las ruedas y se transmite a todo el colectivo tomado como un sólido rígido. También se transmite al pasajero agarrado (*vinculado*). El pasajero desligado no "recibe" esta fuerza y, por lo tanto, no se acelera.

(d) Si se toma el colectivo como referencia, éste está fijo, y el pasajero se mueve en forma acelerada hacia adelante.

(e) Si se toma la vereda como referencia, el colectivo se frena (su rapidez disminuye hasta cero), pero el pasajero continúa en MRU por inercia.

(f) En ambos casos, el resultado es una aceleración relativa del pasajero respecto del colectivo (el pasajero se acerca con MRUV al parabrisas). Sin embargo, viendo la situación desde la vereda, sobre el pasajero no actúa ninguna fuerza, y viéndola desde adentro, sobre el pasajero "actúa" una fuerza que lo acelera hacia adelante. Es necesario postular esta fuerza en uno de los casos para salvar las leyes de Newton.

Algunas respuestas erróneas posibles.

Aparecerán sobre todo al esquematizar el movimiento del pasajero visto desde afuera, en donde es muy probable que los alumnos añadan una fuerza en la dirección del movimiento, a pesar de que éste es un MRU.

Además puede suceder que los alumnos no distingan los referenciales (no perciban su diferencia intrínseca), y expliquen en los mismos términos el fenómeno visto desde adentro y desde afuera.

Actividades.

Experiencia 1: La personita y el colectivo.

Con autitos de juguete (o réplicas de colección) y muñecos, puede verse lo que pasa en una aceleración brusca. Se pone al auto (con el muñeco arriba) en movimiento, bruscamente con un empujón.

Luego de que alcanzó una velocidad constante, se lo frena bruscamente interponiendo un obstáculo. Se observa y se discute lo que pasa con el muñeco en ambas situaciones. (¿Conocen los *crash dummies*? ¿Para qué sirven?)

Conceptualización.

- Existe una diferencia CONCEPTUAL al describir movimientos desde sistemas de referencia supuestos fijos ("de laboratorio") y sistemas acelerados respecto del fijo, solidarios con los móviles cuyo movimiento se describe.

- En los sistemas acelerados, aparecen efectos inesperados (desde las leyes de Newton) que se deben a no tener en cuenta la aceleración de arrastre del sistema de referencia móvil respecto del fijo (cf. colectivo/vereda, tambor/carcaza del lavarropas, calesita/banca).

- Los efectos de traslación acelerada son fácilmente interpretables añadiendo una fuerza que dé cuenta de la inercia de los móviles respecto del sistema acelerado (cf. el colectivo que frena).

Bloque 2.

Preguntas.

- (2) En un lavarropas (de tambor vertical!!), durante el centrifugado,
(a) ¿qué mecanismo permite que la ropa se seque?

Supongamos que "adaptamos" un observador O fijo a la carcaza, y un observador O' fijo al tambor (rotante),

(b) ¿cómo interpretaría O' esto, visto desde adentro? Hacé un esquema señalando movimientos y efectos de la rotación sobre la ropa.

- (c) ¿Y O, viéndolo desde afuera? Hacé un esquema señalando movimientos y efectos de la rotación.
(d) ¿Qué diferencias hay entre una y otra forma de mirar lo mismo?

- (3) Si estás subido a una calesita en movimiento,

(a) ¿puede compararse la velocidad de rotación de la calesita con la del lavarropas? ¿qué sucedería si la calesita girara a grandes velocidades?

Si estás parado cerca del borde,

(b) ¿qué efecto sentís?, ¿qué te sucede?, ¿es fácil quedarte de pie y quieto, sin agarrarte de nada?

(c) ¿Cómo ves esta situación desde adentro? Hacé un esquema.

(d) ¿Y desde afuera? Hacé un esquema.

(e) ¿Qué relación hay entre esto y el lavarropas? ¿qué diferencias y semejanzas encontrás entre la persona en la calesita y la ropa en el tambor?

En el centro de la calesita hay un niño que ve a su madre sentada en la banca. Camina en línea recta hacia ella pero cuando llega al borde no la ve frente a él,

(f) ¿por qué?

(g) ¿Cómo tendría que haber caminado para llegar justo frente a su madre?

(h) Hacé un esquema visto desde arriba de los pasos del niño para cada una de las dos situaciones.

(i) En los casos (f) y (g), ¿cómo están el niño y la madre? ¿cómo es el movimiento de uno respecto de otro?

(j) Para las situaciones en (f) y (g), ¿en qué caso la caminata del niño es recta o curva? ¿respecto de qué (o de quién) es recta o curva?

Respuestas.

(2)

(a) Durante el centrifugado, la ropa se pega contra el tambor rotante. Al ser estrujada contra las paredes, el agua escapa de las prendas hacia afuera a través de los agujeros del tambor. Cuanto más rápido gire el tambor, tanto más rápidamente y mejor se secará la ropa.

(b) Vista desde adentro, la ropa aparece pegada al tambor como por efecto de una fuerza centrífuga, debida a la rotación, que la acelera hacia afuera.

(c) Vista desde afuera, la ropa aparece pegada al tambor porque, al intentar escapar tangencialmente por inercia, es acelerada hacia adentro por la pared del tambor.

(d) Aparece la misma diferencia que en (1). Desde el tambor es necesario postular una fuerza que no existe desde la carcaza para explicar la ropa pegada a la pared.

(3)

(a) La velocidad de rotación de la calesita (5 rpm) es mucho menor a la del lavarropas (500 rpm). Consecuentemente, también debe ser mucho menor la fuerza de rozamiento con el piso necesaria para mantener a los pasajeros en rotación en su interior. Si la velocidad de la calesita aumentara hasta hacerse similar a la del lavarropas, todos los pasajeros saldrían expulsados radialmente.

(b) El efecto que se siente es el de una fuerza que tira hacia afuera, y que debe ser contrarrestada mediante un vínculo (con el suelo). Por eso es difícil mantenerse de pie sin agarrarse.

(c) Desde adentro aparece una fuerza que tira del pasajero hacia afuera.

(d) Desde afuera se interpreta que el pasajero tiende a escapar tangencialmente por inercia y debe ser acelerado por algún vínculo para mantenerse en rotación.

(e) Vistas desde adentro, ambas situaciones son idénticas. Aparece una fuerza extraña que tiende a expulsar los objetos del sistema en rotación. Es necesario un vínculo mecánico que contrarreste esta fuerza para mantener a los objetos en reposo.

(f) Si camina en línea recta respecto de la calesita, en el tiempo en que tarda en llegar al borde, la calesita ha rotado un cierto ángulo y ya no está frente a la madre.

(g) Para llegar frente a la madre, el niño debe caminar sobre una curva, avanzando hacia afuera y retrocediendo angularmente para compensar el adelanto de la calesita.

(i) En el caso (f), la madre ve a su hijo rotar a medida que avanza radialmente. El niño ve a la madre rotar en sentido contrario (quedar retrasada respecto de la calesita). El movimiento relativo tiene una trayectoria curvilínea. En el caso (g), la madre ve a su hijo avanzar radialmente hacia ella. El niño ve a su madre quieta. El movimiento relativo tiene una trayectoria rectilínea.

(j) En el caso (f), la caminata es recta respecto del piso de la calesita y curva respecto del suelo ("afuera"). En el caso (g), la caminata es recta vista desde el exterior y curva desde la calesita.

Algunas respuestas erróneas.

Dado lo intuitivamente fuerte de la sensación centrífuga que se experimenta en las curvas y rotaciones, es posible que los alumnos no puedan descartar las fuerzas ficticias desde el referencial inercial, e insistan en los efectos de inercia, aun cuando desde este sistema son incorrectos. El problema de las "sensaciones físicas" puede resultar particularmente espinoso en un trabajo de ideas previas que conecta al alumnos con su "vida real".

Actividades.

Experiencia 2: *La bolita que sale disparada.*

Con una bolita apoyada sobre una superficie móvil puede investigarse lo que pasa cuando la superficie comienza a rotar. Puede aumentarse la velocidad de rotación y observarse la trayectoria de la bolita.

Experiencia 3: *Trazado de rectas en sistemas fijos y rotantes.*

Usando el dispositivo de la figura 1, puede mostrarse la esencia de la fuerza de Coriolis. La práctica tiene dos partes:

1. *Trazar una recta desde el sistema inercial* (usando las marcas guía) sobre el disco en movimiento (fig. 1a). Al detener el disco, se ve que sobre él quedó trazada una curva. Es el equivalente a conectar dos puntos en el sistema fijo del ejemplo calesita/banca, minimizando la distancia recorrida (cf. el niño sobre la calesita que quiere llegar a su madre en la banca, inicialmente frente a él).

2. *Trazar una recta desde el sistema no inercial* (usando el diámetro guía marcado sobre el disco, fig. 1b). Sobre el papel de calco queda trazada una curva. Es el equivalente a conectar dos puntos en el sistema rotante del ejemplo calesita/banca, minimizando la distancia recorrida (cf. el niño que se mueve desde el centro de la calesita hacia uno de sus postes).

Conceptualización.

- En los sistemas rotantes CON VELOCIDAD ANGULAR CONSTANTE, aparecen dos clases de efectos:

- el primero se debe a la tendencia de los móviles a seguir en línea recta (*inercia*), lo que produce la sensación de que intentan escapar radialmente (cf. lavarropas). Éste se conoce como *efecto centrífugo*.

- el segundo se puede explicar con el hecho de que, para trazar una línea recta desde un sistema fijo, es necesario trazar una curva sobre el sistema rotante, y viceversa (cf. calesita). Éste se conoce como *efecto Coriolis*.

(**Aclaración:** la matemática del efecto Coriolis es bastante compleja, pues involucra la *derivación* desde sistemas fijos y rotantes. Sin embargo, la explicación presentada aquí es la *esencia física* del fenómeno.)

Bloque 3.

Preguntas.

(4)

(a) ¿Qué tipos de movimiento realiza la Tierra (como planeta) en el espacio? Nombra y describí los que conozcas. ¿Cómo se evidencian estos movimientos en la vida cotidiana? ¿Sabés algunos de sus efectos?

(b) ¿Cuál te parece que es el movimiento más importante por sus efectos? ¿Con qué característica(s) del movimiento relacionarías estos efectos?

Respuestas.

(4)

(a) La Tierra gira sobre su eje dando una vuelta completa en alrededor de 24 hs (*rotación*). El efecto más claro de este giro es la sucesión del día y la noche. Además gira alrededor del Sol sobre una elipse en alrededor de 365 días (*traslación*). Un efecto de este movimiento son las estaciones del año, que obedecen a la distinta inclinación del eje respecto del Sol para cada porción de la órbita. Además la Tierra acompaña al Sol en el movimiento conjunto del sistema solar a través de la galaxia Vía Láctea. Además, nuestra galaxia se separa de las otras galaxias arrastrando a la Tierra con ella. Existen otros movimientos menos importantes además de los mencionados.

(b) El movimiento más importante por sus efectos es el de rotación. Es responsable de los movimientos aparentes de los cuerpos celestes y de numerosos efectos de inercia: la curvatura de los vientos alisios, el desgaste desigual de las márgenes de los ríos, las desviaciones en los disparos misilísticos, los husos horarios, el hecho de que el río Misisipí tenga su desembocadura más alta que sus nacientes (¿cómo fluye el agua hacia arriba?!), etc. La característica de la rotación que la hace más importante que los demás movimientos NO es su velocidad lineal (1800 km/h ó 500 m/s en el ecuador), sino su velocidad angular, que tiene asociada una aceleración centrípeta relativamente importante.

Algunas respuestas erróneas.

Además de en la *dinámica*, es en la *astronomía* en la cual parecen concentrarse las ideas erróneas más persistentes y más abiertamente contradictorias con la disciplina teórica. Entre las nociones alternativas más comunes, debemos sin duda mencionar el hecho de que los alumnos (y la inmensa mayoría de los seres humanos!!) asocian las estaciones del año a la *distancia* entre la Tierra y el Sol, y NO a la *inclinación relativa* del eje terrestre respecto de los rayos solares. Conviene recordar que la órbita que sigue nuestro planeta es prácticamente circular. Por otro lado, la inclinación del eje respecto de la eclíptica es de 23,5°.

*Actividades.***Experiencia 4: El globo terráqueo.**

Con el globo puede aclararse el concepto de latitud y de inclinación respecto del eje, imaginando el péndulo de Foucault en diversos lugares de su superficie (París, Buenos Aires, el polo norte, el polo sur, el ecuador...). Además pueden esquematizarse algunos movimientos importantes de la Tierra y tratar de explicar los efectos de inercia. También es interesante trabajar conceptos tales como: la sucesión día/noche; los eclipses; las estaciones del año (¿a qué verano [boreal o austral] corresponde la mínima distancia al Sol?); las noches blancas de Rusia; ¿por qué la Luna muestra siempre la misma cara a la Tierra? (Ver respuestas en el apéndice)

Conceptualización.

- La Tierra efectúa NUMEROSOS movimientos. Los más importantes, por sus efectos observables, son:
 - la traslación (movimiento alrededor del Sol)
 - la rotación (giro sobre el eje propio)

Bloque 4.*Preguntas.*

(5) Teniendo en cuenta que cuando describimos situaciones desde nuestro sistema de referencia supuestamente fijo (la Tierra), en realidad estamos parados en el borde de una gran calesita que gira,

(a) ¿qué sería esperable observar en la Tierra, relacionándola con la calesita y el lavarropas? Hacé esquemas si es necesario.

(b) Por su velocidad de rotación, ¿la Tierra se parece más a la calesita o al lavarropas? ¿Cómo te das cuenta?

(c) Si hacés predicciones para la Tierra basándote en los efectos anteriores, ¿ves que esas predicciones se cumplen? ¿Por qué? ¿Qué nuevos elementos introducirías para explicar las posibles diferencias?

(6) ¿Alguna vez observaste cómo se escapa el agua de una pileta por el sumidero (el agujero del caño) cuando sacás el tapón? ¿Cómo influye la rotación de la Tierra? Hacé un esquema.

(7) ¿Conocés alguna otra situación real que evidencie este tipo de efectos?

(8) ¿Te imaginás algún dispositivo para simular esos mismos efectos? Diseñalo y predecí su comportamiento.

Respuestas.

(5)

(a) En la Tierra es esperable observar efectos centrífugos (que los objetos tiendan a escapar radialmente) y de Coriolis (que las trayectorias rectas se curven).

(b) La Tierra, naturalmente, es más parecida a una calesita (muy lenta). Esto se puede ver en el hecho de que los efectos de inercia predichos están ausentes en casi todas las situaciones de la vida diaria.

(c) Los efectos centrífugos resultarían en la predicción de que los objetos deberían escapar de la superficie de la Tierra. Esto no sucede debido a que esta fuerza está contrarrestada por la atracción gravitatoria de la Tierra sobre todos los cuerpos, que es mucho mayor. Los efectos de Coriolis tampoco se evidencian en general porque resultan en fuerzas transversales muy pequeñas. Sin embargo, para desplazamientos muy largos, la curvatura se evidencia (por ejemplo, en los disparos con cañón, las balas se desvían hacia el este desde su línea recta).

(6) El agua se escapa de las piletas rotando en remolinos. Estos remolinos giran en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio sur, y en sentido contrario en el hemisferio norte.

(7) Otras situaciones posibles son:

- La desviación hacia el este de los objetos que caen.

- La curvatura de los vientos alisios, que soplan desde los trópicos al ecuador, desviándose hacia el este.

- La desviación de la vertical de la plomada, que en general no pasa por el centro de la Tierra.

Algunas respuestas erróneas.

En este tema, las respuestas pueden ser muy variadas. Posiblemente los errores aparezcan por el problema de considerar a la Tierra desvinculada de su atmósfera (como "moviéndose dentro de ella"). De ahí pueden surgir confusiones acerca de la naturaleza de los vientos, o de las trayectorias por vía aérea.

*Actividades.***Experiencia 5: Con lápiz y papel.**

Calcular la velocidad de rotación de la Tierra. Calcular la velocidad lineal en el ecuador. ¿Cómo son estas velocidades? ¿Qué tienen en común casi todos los ejemplos de la vida diaria? (Sus dimensiones colosales!!)

La Tierra cumple un ciclo completo (una rotación) en aproximadamente 24 horas. Esto resulta en una frecuencia aproximada de 10^{-5} ciclos por segundo. Puede compararse esto con las frecuencias de oscilación de un péndulo simple ($[\sqrt{g/l}]/2\pi \approx 0.5$ ciclos por segundo para $l=1$ m) o de los electrones en una antena de recepción de ondas de radio (FM ~ 100 MHz = 10^8 ciclos por segundo); o las frecuencias de rotación de un disco de vinilo (~ 0.5 cps), o de un disco compacto (decenas de ciclos por segundo).

Por otro lado, la velocidad lineal de un objeto sobre el ecuador es aproximadamente igual a 500 m/s (1800 km/h !!). ¿Por qué no se "siente" esta velocidad?

Conceptualización.

- Como en todo sistema rotante con velocidad angular constante, sobre la Tierra aparecen los dos efectos mencionados. Estos efectos pueden ser observados en diversas situaciones extremas, generalmente de dimensiones colosales (cf. cañón, paracaídas, vientos, agua).

3. Apéndice.

Para ser coherentes con nuestra forma de trabajo, presentamos respuestas a las cuestiones planteadas en las experiencias 4 y 5.

1- ¿Cuándo alcanza su perihelio la Tierra?

El día del año que corresponde al perihelio (mínima distancia Tierra-Sol) va variando debido a una lentísima rotación (*precesión*) de la órbita elíptica alrededor del Sol. Durante este siglo, la Tierra alcanza su perihelio a comienzos de enero, en el verano austral (ver figura 2).

2- *¿Qué son las noches blancas de Rusia? ¿Por qué se producen?*

Las noches blancas son un fenómeno espectacular que se produce en Siberia durante el verano del hemisferio norte. Allí, durante varias semanas, el Sol no se pone, y realiza una figura extraña en el cielo. Dada la inclinación del eje de la Tierra ($\sim 25^\circ$), el fenómeno se produce a latitudes mayores a 65° (ver figura 3). La *noche perpetua* del Ártico, que dura seis meses, obedece a la misma causa. Éstos puntos quedan continuamente expuestos u ocultos de los rayos del Sol, según la porción de la órbita que consideremos.

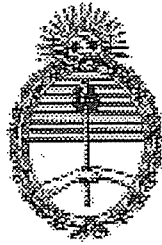
3- *¿Por qué la Luna muestra siempre la misma cara a la Tierra?*

La Luna rota alrededor de la Tierra y en torno a un eje propio simultáneamente. Los períodos de estas dos rotaciones son muy similares (28/29 días). Los ángulos barridos respecto de la Tierra y respecto de su eje propio se compensan, y la Luna siempre tiene un punto fijo frente a la Tierra. (En realidad, una *pequeña* diferencia entre estos dos períodos, hace posible que desde la Tierra veamos el sesenta por ciento de la superficie lunar.)

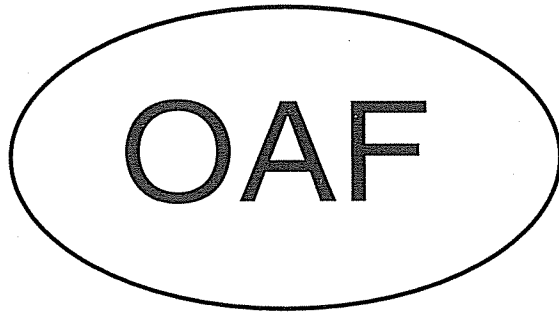
4- *¿Por qué no se "sienten" las velocidades de la Tierra?*

Por un lado, el movimiento de la Tierra en su órbita puede ser considerado rectilíneo y uniforme en escalas de tiempo pequeñas. Sin aceleración, no hay efectos de inercia. Por otro lado, la Tierra se traslada solidariamente con su atmósfera (no sentimos "un viento").

Para la rotación vale lo mismo. La aceleración centrípeta es muy pequeña, y no hay aceleración angular. Tampoco hay "viento", porque la Tierra arrastra a la atmósfera en su rotación.



Ministerio de Educación



OLIMPIADA ARGENTINA DE FÍSICA

Facultad de Matemática, Astronomía y Física
Universidad Nacional de Córdoba

Colaboran:

Asociación Física Argentina
Asociación de Profesores de Física de la Argentina

Secretaría OAF:

Telefax: (0351) 469-9342
Facultad de Matemática, Astronomía y Física
Ciudad Universitaria
5000 - Córdoba
Fax: (0351) 433-4054
