

Objetivos de aprendizaje y currículo integrado (2)

1 Introducción

El presente documento pretende avanzar en una eventual discusión sobre objetivos de aprendizaje, idea iniciada en el Distribuido ACF 62/2018-2020 (Objetivos de aprendizaje y currículo integrado). La idea es hacerlo considerando una disciplina concreta, para lo que el suscrito ha seleccionado Mecánica Newtoniana y relevado algunos de los problemas que se encuentran a nivel internacional en la mencionada disciplina. Exceptuando algunos datos extraídos de documentos en Facultad, el trabajo no se ha hecho con la *unidad curricular* Mecánica Newtoniana sino con la *disciplina*, teniendo en cuenta que el suscrito 1) no es físico 2) no es estudiante de Mecánica Newtoniana y 3) no conoce la unidad curricular Mecánica Newtoniana que se dicta en Facultad. Por estos motivos, y por eventuales particularidades locales, algunas de las observaciones relevadas a nivel internacional podrían no aplicarse a la unidad curricular concreta. De todas formas, el suscrito piensa que el encare del trabajo podría ser útil a las diferentes unidades curriculares de las carreras de Facultad. También, si se entendiera adecuado y en los aspectos que pudieran ser nuevos, podría servir como base a una eventual profundización del tema por parte de los actores pertinentes en la propia unidad curricular Mecánica Newtoniana.

La causa inmediata este trabajo fue una pregunta hecha al suscrito sobre si no opinaba que en el curso de Mecánica Newtoniana había demasiada exigencia de utilización de recursos matemáticos. En segundo lugar, el mencionado curso aparece en el informe de la Unidad de Enseñanza de la Facultad de Ingeniería (UEFI) “Análisis de unidades curriculares identificadas como posibles puntos críticos”, realizado a pedido de la CoPE sobre 9 unidades curriculares identificadas por el orden estudiantil como posibles puntos críticos de las carreras de Facultad, entendidas como aquellas con bajos índices de aprobación.

Un tercer elemento, que fue muy determinante, se debe a la presencia de muchos estudios a nivel internacional. En las últimas décadas ha surgido el término “Investigación en educación basada en la disciplina” (DBER, es la sigla en inglés de “Discipline-Based Education Research”). Según Fensham¹, algunas disciplinas del conocimiento han alcanzado una identidad en la educación desde tres puntos de vista: estructural, de investigación, y de resultados. El término DBER se refiere a un grupo de investigaciones que según la National Research Council² “indaga el aprendizaje y la enseñanza en una disciplina utilizando una gama de métodos con un profundo fundamento en las

1 Fensham, P.J. (2004). “Defining an identity: The evolution of science education as a field of research”. Boston, MA: Springer.

2 National Research Council (2012). “Discipline-Based Education Research: Understanding and Improving Learning in Undergraduate Science and Engineering,” S. R. Singer, N. R. Nielsen, & H. A. Schweingruber (Eds.), Washington, DC: National Academies Press. Disponible a abril 2020 en https://physics.csuchico.edu/~dbrookes/files/NRC2012DBER_Understanding_and_Improving_Learning_in_Undergraduate_Science.pdf

prioridades, la visión del mundo, el conocimiento y las prácticas de la disciplina. Se inspira en las investigaciones más generales sobre el aprendizaje y la cognición humanas y las complementa”. En principio, esa categoría podría ser alcanzada por cualquier disciplina, pero por el momento son solo algunas disciplinas en la órbita de la Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática (STEM) que la han alcanzado. La Investigación en Educación de la Física (PER) ha estado entre las primeras (si no la primera) en alcanzar esa categoría y está entre las que tiene más desarrollo. Por presentar una revisión de trabajos en el área de la PER a nivel de grado y con profusa bibliografía, el suscrito señala en particular el artículo de Docktor et al.³, que trabaja sobre algunos temas y los agrupa en seis áreas:

1. comprensión conceptual,
2. resolución de problemas,
3. plan de estudios e instrucción,
4. evaluación,
5. psicología cognitiva
6. actitudes y creencias sobre el aprendizaje y la enseñanza.

Cada una de esas áreas está organizada en secciones de título común a todas: preguntas de investigación; marco teórico; metodología, recolección de datos o fuentes y análisis de datos; hallazgos; fortalezas y limitaciones; áreas para estudios futuros; referencias. En relación con otras disciplinas además de la física, se considera que la Investigación en Educación de la Ingeniería (EER) ha alcanzado la categoría ser una DBER (Johri et al.⁴).

Finalmente, el área de la Investigación en Educación de la Matemática (MER) aparece como más débil frente a las anteriores (Burkhardt⁵, Friedet al⁶). La índole de los resultados que hay en la literatura expuestos en este trabajo no podrían ser alcanzados dentro de la MER, hay problemas en la PER que se aproximan más a los que el suscrito entiende existen en Facultad que los que se pueden encontrar en la MER.

El volumen de información disponible es enorme, el suscrito elaboró el presente trabajo seleccionando dos temas que pueden interesar en la discusión del tema objetivos (comprensión conceptual y resolución de problemas) y dentro de esos temas estudió algunos artículos con la seguridad que dejó mucho material por considerar. De todas formas, entiende que lo aquí presentado da una idea que podría servir como disparador para profundizar en varias áreas curriculares. Internacionalmente se mencionan acciones para intentar revertir las situaciones planteadas, en este trabajo el suscrito no ha desarrollado dicho tema⁷

3 Docktor, J. L. y Mestre, J. P. (2014) “Synthesis of discipline-based education research in physics”. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 10, 020119 (2014). DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.020119> Disponible a abril 2020 en <https://journals.aps.org/prper/pdf/10.1103/PhysRevSTPER.10.020119>

4 Johri, A. y Olds, B. M. (Eds.), “Cambridge handbook of engineering education research”. New York, NY: Cambridge University Press.

5 Burkhardt, H (2016) Capítulo 29 “Mathematics education research. A strategic view”. En “Handbook of International Research in Mathematics Education” English, L. D. y Kirshner, D. (eds.) (2016). Routledge

6 Fried, M. N. y Dreyfus, T. (eds.) (2014) “Mathematics & mathematics education: searching for common ground” Springer.

7 Una revisión de la literatura existente hasta el 2008 en el área de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática se encuentra en Henderson, C.; Beach, A. y Finkelstein, N. (2011) “Facilitating change in undergraduate STEM instructional practices: An analytic review of the literature”, *J. Res. Sci. Teach.* 48,952 (2011), disponible a mayo 2020 en <http://swcarpentry.github.io/swc-releases/2016.06/instructor-training/files/papers/henderson-facilitating->

El presente documento está organizado de la siguiente forma: en la Sección 2 se examina el tema de unidades curriculares críticas (“cuellos de botella”). Se comparan entre sí diferentes indicadores que se han usado en Facultad a través del tiempo, y, en particular, se examinaron los valores correspondientes a la unidad curricular Mecánica Newtoniana.

En la Sección 3 se encara el tema de Comprensión conceptual. Es uno de los temas que está entre los primeros estudiados por la PER, está entre los más estudiados, y del que se tienen observaciones también en Facultad (en la Herramienta Diagnóstica Media 2008⁸). El problema consiste en que muchos estudiantes egresan de los estudios de física (en todas sus disciplinas) con serias lagunas en su comprensión de temas importantes.

En la Sección 4 se considera el tema Resolución de problemas. Las observaciones recabadas a nivel internacional, de considerarse pertinentes, bien podrían trascender a la Física e ir a otras áreas de Facultad. Se transcriben también comentarios realizados por investigadores de la EER.

En la Sección 5 se examinan algunas Actitudes y creencias sobre el aprendizaje y enseñanza a nivel internacional. Las consideraciones aquí, que tienen en cuenta el punto de vista estudiantil y docente, también pueden trascender el área de la Física. Hay observaciones en la Herramienta Diagnóstica Media 2008⁸ (HDM 2008) y en la HDM 2009⁹ en el sentido de que algunas consideraciones que se hacen en esta Sección se presentan también en Facultad.

Como se mencionó en el Distribuido del Claustro ACF 62/2018-2020, un medio de reflexionar sobre los problemas como los que se presentan en las Secciones 3 y 4 en las disciplinas donde se encuentre pertinente es elaborando una taxonomía de objetivos de aprendizaje. El establecer una taxonomía es una manera en que los docentes meditan en su propia enseñanza. En la Sección 6 se muestra la forma en que en una unidad curricular (Introducción a la Física, en el departamento de física de la Universidad George Washington) se elaboró una taxonomía concreta relativa al tema Mecánica Newtoniana. Lo que el suscrito entiende interesante de esta Sección es que se muestra con un ejemplo cómo se puede pasar de una taxonomía, que está en la esfera de la psicología educativa (la Nueva Taxonomía de Objetivos Educativos de Marzano y Kendall⁷⁶), a aplicarla a una unidad curricular concreta de física, así creando la Taxonomía de Problemas de Introducción a la Física⁷⁵, que deriva de la taxonomía de Marzano y Kendall.

En la Sección 7 se hacen algunos comentarios. El documento termina con un Anexo, donde se disgregan hasta cierto nivel los elementos de la Nueva Taxonomía de Objetivos Educativos para dar una mejor idea de su composición, aunque sin llegar al nivel de detalle que se presenta en la bibliografía (ver Marzano et al.⁷⁶).

2 Unidades curriculares críticas

Un antecedente está en el documento de Piedra-Cueva¹⁰. En ese documento se examinaron el número de aprobaciones en diferentes unidades curriculares de los institutos de la Facultad. Primero, se estableció el promedio de aprobaciones por instituto, entendido como el cociente del

[stem-teaching-change-2011.pdf](#)

8 UEFI (2008) “Informe Herramienta diagnóstica media 2008” Disponible a mayo 2020 en <https://www.fing.edu.uy/~enrich/evaluacion/HDM2008.doc>

9 UEFI (2009) “Informe Herramienta diagnóstica media 2009” Disponible a mayo 2020 en <https://www.fing.edu.uy/~enrich/evaluacion/HDM2009.doc>

10 Sección 18.5, pp. 107-115 de Piedra-Cueva, I. (2011) “Memorias de decanato 2005-2010” Disponible a abril 2020 en <https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2011/4428/MEMORIAS%202010%20FINAL%20-%202010set.pdf>

total de los alumnos que aprobaron unidades curriculares dictadas por un instituto durante los años 2007- 2008, sobre el total de inscriptos a todas esas unidades curriculares. El resultado fueron porcentajes que iban desde 41,13% para el IF y 46,77 para el IMERL hasta 72,65% para el IET y 83,07% para Agrimensura. A continuación se examinaron, para cada instituto, varias unidades curriculares cuyo nivel de aprobación estaba por debajo del promedio del instituto. El resultado fue la tabla 5.3 del mencionado documento en la que se consideraron tres años: 2006, 2007 y 2008, y donde aparecen alrededor de 50 unidades curriculares. En particular se observa que el porcentaje de aprobación en el global para esos tres años para Mecánica Newtoniana es de 55,6% calculado sobre los estudiantes que mostraron alguna actividad, y se reduce al 47,8% si el cociente se hace sobre los inscriptos. Del examen de la tabla se desprende que el porcentaje de aprobación de cursada (exoneración más aprobación) en la mencionada unidad curricular tomado sobre estudiantes inscriptos es del 67,1% mientras que el porcentaje de exonerados es solamente del 16%, también sobre los inscriptos. El porcentaje de aprobados en examen es del 33,3%.

La Sección 18.5 del documento de Piedra-Cueva termina con algunas observaciones: si bien un análisis realizado tomando solamente como elemento de referencia porcentajes de aprobados resulta complejo, de todas formas como primera aproximación, aparecen como porcentajes muy bajos. Se realizan algunos comentarios genéricos sobre la situación:

- a) Por un lado, los estudiantes no pueden aprender “todo”. Claramente deben aprender lo que no “pueden dejar de aprender”, cosa que hay que definir a la hora de evaluar lo aprendido.
- b) Lo segundo, es que deben aprender a aprender solos, pues en la actividad profesional quizás lo mas frecuente sea enfrentarse a problemas no vistos con anterioridad.
- c) El nivel y tipo de exigencia debe ser acorde a la edad cronológica de los estudiantes.
- d) Se deben valorar en su globalidad los procedimientos de evaluación y contenidos de las evaluaciones de forma de evaluar el logro de los objetivos centrales de la asignatura, con metas de aprobación razonables, manteniendo o mejorando la calidad de formación, considerando asimismo el esfuerzo total solicitado a los estudiantes en el conjunto de actividades requeridas en cada semestre

Otro antecedente es el trabajo en proceso de la UEFI “Estudio de posibles Puntos Críticos-Periodo 2012 – 2016”. Allí se define punto crítico como “Momento en el cual la trayectoria real del estudiante se aparta de la trayectoria teórica.” La comisión de carrera de Ingeniería Eléctrica señaló 10 unidades curriculares como posibles puntos críticos (hay datos también para Ingeniería Civil), entre las que se encuentra Mecánica Newtoniana con un porcentaje de 23% de exonerados seguramente sobre inscriptos, y 41% de aprobados en examen. Estos porcentajes aparecen como mejores respecto a los mostrados en el informe de Piedra-Cueva (respectivamente 16% y 33,3%).

Finalmente, se considera el “Análisis de unidades curriculares identificadas como posibles puntos críticos” de la UEFI mencionado en la introducción. En ese trabajo, se identifica como posible punto crítico una unidad curricular si en más del 50% de las ediciones analizadas:

- a) la aprobación de cursada es menor o igual al 70% (incluye aprobación y exoneración)
- b) la aprobación de examen es menor o igual al 30%

En este caso es más difícil hacer comparaciones del desempeño de Mecánica Newtoniana con resultados obtenidos en años anteriores que con el anterior trabajo de la UEFI, pero el porcentaje de

aprobados más exonerados en promedio parece haber aumentado respecto al trabajo de Piedra-Cueva, y en cuanto a los aprobados en examen, los porcentajes no parecen dar la impresión de haber empeorado.

No es sencillo comparar entre sí los diferentes estudios hechos en los últimos años, parece necesario ponerse de acuerdo primero sobre qué se entiende por unidad curricular crítica, o “cuello de botella”. ¿Qué es un curso cuello de botella? En general se definen en forma amplia (ver Kiss¹¹) como cualquier cosa que limite la capacidad de los estudiantes para progresar hacia la graduación. En ese sentido, pueden haber varias causas para que una unidad curricular resulte un “cuello de botella”. Los siguientes aspectos fueron tomados de Urban Initiatives¹²:

- a) Unidades curriculares con altos porcentajes de reprobación.
- b) Unidades curriculares que aunque no tengan porcentajes muy altos de reprobación, son previas del cursado de otras unidades curriculares de la carrera.
- c) Unidades curriculares que presenten cupos por diferentes motivos (por ejemplo, laboratorios).
- d) Unidades curriculares que presentan dificultades de asistencia estudiantil por los horarios en que son dictadas (por ejemplo, pueden resultar inaccesibles para estudiantes que trabajan).
- e) Sobre todo en el caso de cursos más avanzados, pueden presentarse unidades curriculares que no sean dictadas todos los años.
- f) Puede pensarse en cuellos de botella producidos por falta de asesoramiento y programación, en que los estudiantes ignoren cursos dictados en otros servicios o incluso en la propia facultad que les pueden ser útiles.

En el documento citado de Urban Initiatives¹² se encuentran algunas ideas para atacar estos problemas, es claro que las medidas a tomar dependen del problema que cause el cuello de botella. Por ejemplo y entre otros, para unidades curriculares con bajos niveles de aprobación se mencionan el rediseño de los cursos empleando modalidades de aprendizaje activo, el establecimiento de programas puente para acelerar la preparación académica de los estudiantes y la adición de servicios de apoyo adicionales como estudiantes asistentes de aprendizaje y sistemas de alerta temprana.

3 Comprensión conceptual

En este tema, en el caso de Mecánica Newtoniana, hay dos tipos de dificultades. Por un lado, en el artículo de Coelho¹³ se señalan algunas inconsistencias lógicas o conceptuales que pueden aparecer en textos de física. En particular, en ese artículo se señalan algunos problemas con la ley de inercia y con los conceptos de fuerza, fuerza ficticia, peso, masa y con la distinción conceptual entre masa inercial y gravitatoria.

Pero es más complejo el segundo tipo de dificultad. Las leyes de Newton son fáciles de memorizar, no tan fáciles de usar, y su comprensión es todavía más difícil. Según Docktor et al., “Los estudiantes poseen conceptos erróneos que están profundamente arraigados y son difíciles de

11 Kiss, M. (2014) “The California State University Bottleneck Courses Survey Report” Journal of Collective Bargaining in the Academy: Vol. 0, Article 2. Disponible a abril 2020 en <https://thekeep.eiu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1356&context=jcba>

12 Urban Initiatives (2016) “Removing bottlenecks. Eliminating barriers to completion.” Collaborating for Change. Transformational Planning Grant. Disponible a abril 2020 en <https://www.aplu.org/library/removing-bottlenecks-eliminating-barriers-to-completion/file>

13 Coelho, R. L. (2012) “Conceptual Problems in the Foundations of Mechanics” Science & Education 21:1337–1356 doi: 10.1007/s11191-010-9336-x Disponible a abril 2020 en Timbó en <https://link-springer-com.proxy.timbo.org.uy/content/pdf/10.1007%2Fs11191-010-9336-x.pdf>

desalojar [Etkina et al.¹⁴, Bransford et al.¹⁵]. Se ha identificado una abundancia de conceptos erróneos en una amplia gama de temas de física¹⁶ en la física para estudiantes universitarios (para un examen de los últimos años anteriores al 2000, véase la referencia McDermott et al.¹⁷). A menudo, los conceptos erróneos parecen desaparecer y son sustituidos por conceptos científicos que siguen los aprendizajes, solo para reaparecer meses después.”

Según Brown et al.¹⁸:

- Muchas preguntas, formuladas de manera cualitativa o "conceptual", siguen siendo difíciles para los estudiantes a pesar de una amplia instrucción recibida respecto a ellas, incluidos aquí a los estudiantes que pueden resolver las preguntas cuantitativas estándar de los libros de texto sobre los mismos temas.
- Las respuestas incorrectas a estas preguntas tienden a agruparse en un pequeño número de alternativas.
- Los estudiantes a menudo muestran confianza en sus respuestas incorrectas.

En el mismo trabajo de Brown se describe un video, (Schneps et al.¹⁹) en que se muestran las dificultades de comprensión de una estudiante de enseñanza media, calificada como muy buena, en comprender las causas de las estaciones y de las fases de la luna. Primero, y antes de trabajar el tema en clase, se le hicieron preguntas sobre su comprensión de esos temas. Sus respuestas fueron grabadas y vistas por la docente a cargo de la asignatura, previo a la clase. Luego de desarrollada la clase correspondiente, volvió a ser interrogada sobre el tema, y para desesperación de la docente, si bien sus respuestas mejoraron, las combinaba con sus concepciones anteriores, que aún mantenía.

La bibliografía es extremadamente profusa en al tema “comprensión conceptual”, como se puede ver en las referencias de los artículos ya señalados en esta Sección. Por ejemplo, en Liu et al.²⁰ hay una revisión de las publicaciones que se hicieron entre 1970 y 2015 relativas a los conceptos erróneos que involucran “fuerza” y “aceleración”. Clasificaron los conceptos erróneos relativos a fuerza en dos categorías (Fuerza en general y Fuerzas particulares) y a su vez en nueve subcategorías: para fuerza general, las subcategorías fueron fuerza en sí, fuerza vs. movimiento, fuerza vs. velocidad/rapidez, fuerza vs. aceleración, fuerza vs. masa, y fuerza vs. energía. Para fuerzas particulares, las subcategorías fueron gravedad, fricción y otras fuerzas. Los conceptos

14 Etkina, E.; Mestre, J. y O'Donnell, A. (2005) “The Self and Academic Motivation: Theory and Research after the Cognitive Revolution” en *The Cognitive Revolution in Educational Psychology*, Royer, J. M. (ed.) (Information Age Publishing, Greenwich, CT,2005), pp. 119–164.

15 Bransford, J. D.; Brown, A. L. y Cocking, R. R. (1999) “How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School (National Academy Press, Washington, DC

16 En McDermott et al.¹⁷ hay amplias referencias al problema en Mecánica newtoniana, Relatividad, Electromagnetismo, Luz y óptica, Propiedades de la materia, Mecánica de los fluidos, Termodinámica, Ondas y sonido, Física moderna.

17 McDermott, L. C. y Redish, E. F. (1999) “Resource letter: PER-1: Physics education research”, *Am. J. Phys.* 67, 755 (1999) Disponible a mayo 2020 en <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED439011.pdf>

18 Brown, D. E. y Hammer, D. (2008). “Conceptual change in physics.” En S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York Routledge (Taylor & Francis Group). Disponible a mayo 2020 en http://conceptualchange.it.helsinki.fi/background/brown_hammer_conceptual_change_in_physics.pdf

19 Schneps, M. H. y Sadler, P. M. (directores) (1988). *A private universe*. (video) (En español: Un universo personal) Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. Disponible a mayo 2020 con subtítulos en castellano en <https://www.youtube.com/watch?v=4BwWDWi9zp4>

20 Liu, G. & Fang, N. (2016) “Student Misconceptions about Force and Acceleration in Physics and Engineering Mechanics Education.” *International Journal of Engineering Education*, 32(1), 19-29 Disponible a mayo 2020 en https://www.researchgate.net/profile/Gang_Liu94/publication/295010239_Student_Misconceptions_about_Force_and_Acceleration_in_Physics_and_Engineering_Mechanics_Education/links/5d6de62b4585150886097b2e/Student-Misconceptions-about-Force-and-Acceleration-in-

erróneos relativos a la aceleración se clasificaron en tres categorías: aceleración vs. fuerza, aceleración vs. velocidad/rapidez y dirección de la aceleración. En cada caso, se daban ejemplos de publicaciones donde se estudiaban los conceptos erróneos correspondientes.

Para dar una idea de qué tipo de conceptos erróneos se están considerando, se transcribirá parte del artículo de Poutot et al²¹, donde se examina las respuestas al test Force Concept Inventory²² dadas por estudiantes franceses de primer año de ingeniería recabadas durante tres años para comparar la eficacia de dos métodos de enseñanza: cursos tradicionales frente a aprendizaje basado en problemas. A continuación se transcriben algunas conclusiones de ese trabajo:

“Una investigación en algunas bases de datos que enumeran conceptos erróneos en física muestra que los identificados entre nuestros estudiantes ya han sido identificados por otros investigadores:

‘El movimiento de un objeto siempre está en la dirección de la fuerza neta aplicada al objeto’: este concepto erróneo aparece en la lista compilada por el proyecto Operation Physics Elementary/Middle School Physics Education Outreach del Instituto Americano de Física²³. ‘La fuerza neta debe estar en la dirección del movimiento, por lo que los objetos viajarán a lo largo de una línea en esa dirección’ es otra frase del mismo concepto erróneo que se ha propuesto en una lista proporcionada en línea por la Universidad de Montana²⁴, citando como referencias a Halloun & Hestenes²⁵, Gunstone²⁶ y Aguirre²⁷.

‘Confusión entre aceleración y velocidad’: este concepto erróneo se identifica de nuevo en la lista del Instituto Americano de Física²³ y también, con una formulación ligeramente diferente, por Trowbridge & McDermott²⁸.

‘Los objetos grandes ejercen una fuerza mayor que los pequeños’: este concepto erróneo también aparece en la lista del Instituto Americano de Física²³. Otra frase, ‘Los objetos más pesados caen más rápido que los ligeros’, que revela el mismo concepto erróneo que hemos identificado como ‘la masa importa’, aparece en la lista

21 Poutot, G. y Blandin, B. (2015) “Exploration of Students’ Misconceptions in Mechanics using the FCI” American Journal of Educational Research, 2015, Vol. 3, No. 2, 116-120 Disponible a mayo 2020 en <http://pubs.sciepub.com/education/3/2/2/education-3-2-2.pdf>

22 El Force Concept Inventory (FCI) es una prueba que mide el dominio de los conceptos comúnmente enseñados en un primer semestre de física desarrollado originalmente por Hestenes, Halloun, Wells y Swackhamer en 1985 y luego extendido para una variedad de otros tópicos (ver p. ej. Gray et al.⁵⁵). Por FCI ver por ejemplo Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer; D. (1992). Force Concept Inventory. The Physics Teacher, 30 (3), 141-151. Disponible a mayo 2020 en <https://ptc.weizmann.ac.il/Uploads/dbsAttachedFiles/1852FCI.pdf>

23 “Children’s misconceptions about Science”. Disponible a mayo 2020 en <http://amasci.com/miscon/opphys.html>

24 Se transcribe a continuación el vínculo mencionado en el documento original, aunque no es válido a mayo 2020: “URL: <http://www.physics.montana.edu/physed/misconceptions/>, accessed on 2014-11 -2”

25 Halloun I. A. y Hestenes D. (1985) “Common-sense concepts about motion”, Am. J. Phys. 53, 1056-1065 Disponible a mayo 2020 en http://phys205.physics.tamu.edu/WebPageDocuments/Halloun_MotionConcepts.pdf

26 Gunstone R. F. (1987) “Student understanding in mechanics: A large population survey”, in Am. J. Phys. 55, 691-696 Disponible a mayo 2020 en https://www.researchgate.net/profile/Richard_Gunstone/publication/238983736_Student_understanding_in_mechanics_A_large_population_survey/links/02e7e52f8a2f984024000000.pdf

27 Aguirre J.M. (1988) “Student preconceptions about vector kinematics”, in Phys. Teach. 26, 212-216

28 Trowbridge D.E. y McDermott L. C. (1981) “Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension”, in Am. J. Phys. 49, 242-253 Disponible a mayo 2020 en https://www.researchgate.net/profile/Lillian_C_Mcdermott/publication/249962180_Investigation_of_Student_Understanding_of_the_Concept_of_Acceleration_in_one_Dimension/links/56266bbb08aeedae57dc155c.pdf

de la Universidad de Montana²⁴, y la referencia se atribuye, de nuevo, a Halloun y Hestenes⁸⁵.

‘Confusión entre velocidad y posición del objeto’: este concepto erróneo también se identifica en la lista de la Universidad de Montana²⁴, y la referencia se atribuye a McDermott & al.²⁹.

La trayectoria de un objeto viene dada por la dirección o ‘la forma’ del último impulso: esta idea errónea se da bajo una frase ligeramente diferente ‘Los objetos pueden ser entrenados para seguir un determinado camino por las fuerzas, y continuarán a lo largo de ese camino, incluso después de que las fuerzas sean eliminadas’ en la lista de la Universidad de Montana²⁴, y viene de Halloun y Hestenes⁸⁶ y también de Caramazza & al.³⁰.

Parece que muchos de los conceptos erróneos de nuestros estudiantes están muy extendidos. La única diferencia es que los conceptos erróneos descritos por otros investigadores fueron identificados entre los niños. Nuestros estudiantes ya no son niños. Tienen entre 20 y 24 años, pero también transmiten las mismas dificultades conceptuales que los niños, y además, para la mayoría de ellos, estos conceptos erróneos no se cambian a concepciones newtonianas después del curso, como se muestra en la Figura 2. Esta persistencia parece ser independiente del método de enseñanza que se utiliza, ya que no apareció ninguna diferencia significativa entre los estudiantes que asistieron a los cursos tradicionales y los que asistieron a las sesiones de aprendizaje basado en problemas con el mismo programa en mecánica durante los 3 años de nuestra experiencia.”

En el mismo sentido, Redish³¹ menciona que: “Durante la última década, se han acumulado datos que demuestran que, como profesores de física, no conseguimos influir en la forma en que la mayoría de nuestros estudiantes piensan sobre el mundo [Arons³², Trowbridge et al.³³, Halloun et al.³⁴, Thornton et al.³⁵, McDermott³⁶]. Hemos reajustado nuestros exámenes para que los estudiantes puedan tener éxito y, entonces, nos hemos engañado a nosotros mismos al pensar que les estamos

29 McDermott L.C., Rosenquist M.L. and van Zee E.H. (1987) “Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics”, in *Am. J. Phys.*, 55, 503-513. Disponible a mayo 2020 en <http://ishtar.df.unibo.it/Uni/bo/scienze/all/pecori/stuff/Didattica/McDermottAJP1987.pdf>

30 Caramazza A., McCloskey, M. and Green, B. (1981) “Naive beliefs in "sophisticated" subjects: misconceptions about trajectories of objects”, in *Cognition* 9, 117-123 Disponible a mayo 2020 cliqueando [aquí](#).

31 Redich, E. F. (1994) “The Implications of Cognitive Studies for Teaching Physics· *Am. J. Phys.* 62, 796-803 (1994); <https://doi.org/10.1119/1.17461> Disponible a mayo 2020 en <http://www.physics.emory.edu/faculty/weeks/journal/redish-ajp94.pdf>

32 A. Arons, A. (1990) “A Guide to Introductory Physics Teaching” (Wiley, New York, 1990).

33 Trowbridge, D. E. y McDermott, L. C.

a) "Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension," *Am. J. Phys.* 48, 1020-1028 (1980) Disponible a mayo 2020 en https://www.researchgate.net/profile/Lillian_C_Mcdermott/publication/249962180_Investigation_of_Student_Understanding_of_the_Concept_of_Acceleration_in_one_Dimension/links/56266bbb08aeedae57dc155c.pdf

b) "Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension," *Am. J. Phys.* 49, 242-253 (1981). Disponible a mayo 2020 en https://www.researchgate.net/profile/Lillian_C_Mcdermott/publication/249962180_Investigation_of_Student_Understanding_of_the_Concept_of_Acceleration_in_one_Dimension/links/56266bbb08aeedae57dc155c.pdf

34 Halloun, A. y Hestenes, D.

a) "The initial knowledge state of college physics students," *Am. J. Phys.* 53, 1043-1055 (1985). Disponible a mayo 2020 en <http://pages.iu.edu/~kforinas/Argentina/Articulos/fci.pdf>

enseñando con éxito o hemos rebajado nuestros estándares eliminando la comprensión de nuestra definición de aprendizaje con éxito. Alan van Heuvelen³⁷ ha comentado en su trabajo que el 20% de los estudiantes entraron como pensadores newtonianos en el primer semestre de una clase introductoria de física basada en cálculo. El impacto del curso fue aumentar ese número al 25%. Si queremos llegar a una fracción sustancial de nuestros estudiantes, debemos prestar mucha más atención a cómo aprenden los estudiantes y cómo responden a nuestra enseñanza. Debemos tratar la enseñanza de la física como un problema científico.“

Un indicio de que una situación similar puede suceder en Facultad es la que se refleja en la HDM 2008⁸, pp. 26-27, donde se muestra las respuestas a una pregunta de acción y reacción a un conjunto de estudiantes, y su comparación con la respuesta a la misma pregunta en la Herramienta Diagnóstica al Ingreso (HDI): “Es llamativo que 62 estudiantes hayan contestado en forma incorrecta esta pregunta en ambas pruebas y más aún que 13 estudiantes [...] que habiendo contestado la pregunta en forma correcta en la HDI la contestan en forma incorrecta en la HDM.”

4 Resolución de problemas

4.1 Habilidades matemáticas

Como muestra de posibles dificultades matemáticas en la resolución de problemas, se le sugirió al suscrito que observara los ejercicios del práctico 2 del curso de Mecánica Newtoniana, Parte A: Ejercicios de dinámica de la partícula. El suscrito hizo la mayoría de los ejercicios, las observaciones que puede hacer sobre los enunciados son de tercer orden³⁸. El planteo de la segunda ley de Newton unido a ecuación diferencial resoluble conduce a un número muy acotado de tipos de ecuaciones diferenciales. La resolución de esos problemas parece exigir alguna habilidad operatoria (no grande, aunque eso es relativo a las habilidades de los ejecutantes). Es de preguntarse si las habilidades matemáticas requeridas efectivamente no ofrecen algún obstáculo a los estudiantes. En

-
- b) "Modeling instruction in mechanics," Am. J. Phys. 55, 455-462 (1987). Disponible a mayo 2020 en http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef005/textos/Halloun_Mdlg87.pdf
- 35 Thornton, R. K. y Sokoloff, D. R. (1990) "Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools," Am. J. Phys. 58, 858-867 (1990). Disponible a mayo 2020 en homepages.ius.edu/KFORINAS/Argentina/Articulos/AJP000858SokoloffComputers.pdf
- 36 McDermott, L. C.
- a) "Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned-Closing the gap," Am. J. Phys. 59, 301-315 (1991). Disponible a mayo 2020 en https://www.researchgate.net/profile/Lillian_C_Mcdermott/publication/241213640_Millikan_Lecture_1990_What_we_teach_and_what_is_learned-Closing_the_gap/links/56266bbe08aed3d3f1383e72/Millikan-Lecture-1990-What-we-teach-and-what-is-learned-Closing-the-gap.p
- b) "Guest Comment: How we teach and how students learn-A mismatch?" Am. J. Phys. 61, 295-298 (1993), y referencias en él. <https://doi.org/10.1119/1.17258>
- 37 van Heuvelen, A. (1991) "Overview, Case Study Physics" American Journal of Physics **59**, 898 (1991); <https://doi.org/10.1119/1.16668>
- 38 a) La Nota que aparece en el ejercicio 4 le resultó algo confusa al suscrito, bien puede ser por su desconocimiento del curso. Pensó que las dos formas eran por un lado, reducción de orden con el cambio de variable $u = \dot{z}$ y por el otro una ecuación de Ricatti lo que permite usar recursos para resolverla. En realidad, ahora piensa que la segunda forma implícita en la Nota del ejercicio, en vez de ser la ecuación de Ricatti, consiste en hacer la sustitución $\dot{z}^2 = v(z)$. De todas formas, le resulta extraño que esa sugerencia aparezca explícitamente expresada en el ejercicio 9, *que es posterior*, y no en este ejercicio 4.
- b) Un archivo en la plataforma EVA de Mecánica Newtoniana al cual el suscrito accedió como invitado muestra que hay un archivo muy útil en que se resumen las ecuaciones diferenciales que usualmente aparecen en mecánica y que abonan la afirmación de que en esta temática aparece un conjunto acotado de ecuaciones diferenciales. No obstante, hay un error de transcripción tanto en la fórmula (H) de 1.2.1 como en la fórmula (NH) de 1.2.2: donde aparece $f(x)$ debe decir $f(t)$. Otro error está en el renglón inmediatamente arriba de la Sección III), la ecuación allí mencionada no es lineal excepto en el caso particular que la función f así lo sea.

particular, el tema ecuaciones diferenciales aparece en el programa de Cálculo diferencial e integral en varias variables de 2016, donde el cronograma tentativo le dedica una semana a los temas “Ecuaciones de variables separables, lineales de primer orden, y lineales de segundo orden a coeficientes constantes”, lo cual si efectivamente se cumple así, tal vez sea algo escaso.

Se han encontrado algunas referencias en la literatura respecto a dificultades matemáticas en física, p. ej. Cui et al.³⁹, Rebello et al.⁴⁰, y Erfanet al.⁴¹ pero no parecen ser de utilidad en este caso. En principio, no parece que este tema fuera un obstáculo, en todo caso, dado que la visión del suscrito sin duda es muy diferente de la de los estudiantes y bien puede estar sesgada, podría ser pertinente recabar la opinión de los estudiantes y docentes al respecto.

4.2 Resolución de problemas desde el punto de vista de la Investigación en enseñanza de la Ingeniería (EER)

En particular, la unidad curricular Mecánica Newtoniana, además de la importancia en sí de sus contenidos, tiene la importancia derivada de ser una asignatura modelístico-experimental. El programa de Mecánica Newtoniana establece que “Sus objetivos son que el estudiante adquiera una comprensión profunda de los fundamentos y aplicaciones de la mecánica clásica, fortaleciendo al mismo tiempo su capacidad de razonamiento analítico.” Este último punto sobre el razonamiento analítico es esencial en ingeniería. Para muchos estudiantes, es probablemente en los cursos de Mecánica Newtoniana donde encuentran por primera vez en forma cabal lo que llamaremos “transformación representacional”, partiendo de los fundamentos dados por las leyes de Newton. En McCracken et al.⁴² se lee: “El centro de la resolución de problemas de ingeniería es lo que llamamos transformación representacional. [...] Primero se traduce un enunciado del problema (texto) en un boceto (diagrama) que articula visualmente las partes esenciales del problema. Los modelos mecánicos y los diagramas de cuerpo libre son ejemplos de esta primera transformación. El modelo cualitativo se transforma luego en un conjunto de fórmulas matemáticas (símbolos), que conducen a la solución del problema. Así, el problema se resuelve utilizando tres tipos de sistemas de representación: textual, diagramático y simbólico. En cada paso el ingeniero traduce la información de un sistema representativo a otro, promulgando un algoritmo cultural abstracto. [...] El conocimiento necesario para realizar estas transformaciones representacionales es central a la práctica de la ingeniería.”

Sin embargo, yendo a un nivel más fino, empiezan a observarse peculiaridades. En el mismo artículo de McCracken et al.⁴² se mencionan tres fases al resolver un problema: reconocimiento, encuadre y síntesis. En el reconocimiento, se buscan datos, ya sea en el enunciado del problema del ejercicio práctico o en la realidad y se desarrolla una comprensión inicial. En la fase de encuadre, se generan suposiciones e hipótesis para simplificar el problema, y se esboza una solución potencial.

39 Cui, L.; Rebello, N. S. y Bennett, A. G. “College students’ transfer from calculus to physics” AIP Conf. Proc. 818, 37 (2006). Disponible a abril 2020 en <https://perg.phys.ksu.edu/papers/2005/Cui-PERC2005.pdf>

40 Rebello, N. S., Cui, L., Bennet, A. G., Zollman, D. A. & Ozimek, D. J. (2007). “Transfer of learning in problem solving in the context of mathematics and physics.” En D. Jonassen (Ed.), “Learning to solve complex scientific problems” (pp. 223-246). Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum. Esas páginas están disponibles a mayo 2020 en <https://web.phys.ksu.edu/papers/2006/TransferInProblemSolving-FullChapter-v32.pdf>

41 Erfan, M. y Ratu, T. (2028) “Analysis of Student Difficulties in Understanding The Concept of Newton’s Law of Motion. JIPF (Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika), 3(1), 1–4. <https://doi.org/10.26737/jipf.v3i1.161>. Disponible a mayo 2020 en <https://journal.stkipingkawang.ac.id/index.php/JIPF/article/download/161/pdf>

42 McCracken W., y Newstetter, W. (2001). “Text to diagram to symbol: Representational transformations in problem-solving”. Proceedings of IEEE Conference on Frontiers in Education, Reno, NV. Disponible a abril 2020 en <http://archive.fie-conference.org/fie2001/papers/1259.pdf>

Finalmente, en la síntesis, se resuelve el problema. Es al llevar a la práctica estas ideas que aparecen diferencias entre los problemas que se plantean durante la carrera en general en el mundo, y los de la práctica de la ingeniería. Según Jonassen⁴³:

“En la mayoría de las clases de grado, los estudiantes aprenden a resolver los problemas de los libros de texto que están limitados y bien estructurados, con vías de solución conocidas y respuestas convergentes [...]. Los problemas de la realidad, por otra parte, tienden a ser mal estructurados e impredecibles porque tienen objetivos contradictorios, múltiples métodos de solución, normas de éxito no relacionadas con la ingeniería, limitaciones no relacionadas con la ingeniería, problemas imprevistos, conocimientos distribuidos y sistemas de actividades colaborativas.”

“En las clases de ingeniería los estudiantes suelen aprender a resolver ‘problemas verbales⁴⁴’. Los problemas verbales típicamente presentan un conjunto de variables embebidas en un contexto poco profundo. Los problemas verbales muchas veces se resuelven identificando valores clave en el breve escenario propuesto, seleccionando la ecuación apropiada, aplicando la ecuación para generar una respuesta cuantitativa y, con suerte, comprobando sus respuestas (Sherrill⁴⁵). A pesar de nuestras intenciones, los estudiantes suelen emplear una estrategia táctica de evasión para resolver los problemas verbales:

- Buscar palabras clave.
- Seleccionar la fórmula en base a las palabras clave.
- Traducir en ecuaciones las relaciones sobre las incógnitas.
- Resolver las ecuaciones para encontrar el valor de las incógnitas.

Este enfoque, denominado "plug-and-chug" (sustituya y obtenga) puede dar respuestas correctas verificables, pero normalmente da como resultado la ausencia de comprensión conceptual de los conceptos y principios representados en el problema (Catrambone et al.⁴⁶, Gick et al.⁴⁷, Ross⁴⁸, Ross⁴⁹). Con demasiada frecuencia, los alumnos no recuerdan o reutilizan los ejemplos adecuadamente porque su recuperación se basa en una comparación de las características superficiales de los ejemplos con el problema de que se trate, y no en sus características estructurales, mientras que los expertos en solución de problemas representan los problemas en

43 Jonassen, D.H. (2014). Capítulo 6 “Engineers as Problem Solvers” En A. Johri & B. M. Olds (Eds.), Cambridge handbook of engineering education research (pp. 141-159). New York, NY: Cambridge University Press.

44 Story problems en el original en inglés.

45 Sherrill, J. M. (1983). “Solving textbook mathematical problems”. Alberta Journal of Educational Research, 29, 140–152.

46 Catrambone, R. y Holyoak, K. J. (1989). “Overcoming contextual limitations on problem solving transfer.” Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15(6), 1147–1156. Disponible a abril 2020 en https://www.researchgate.net/profile/Keith_Holyoak/publication/232487422_Overcoming_Contextual_Limitations_on_Problem-Solving_Transfer/links/02e7e516c3b7c40d77000000.pdf

47 Gick, M. L. y Holyoak, K. J. (1983). “Schema induction and analogical transfer.” Cognitive Psychology, 15, 1–38. Disponible a abril 2020 en <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/25331/0000776.pdf?sequence=1>

48 Ross, B. H. (1987). “This is like that: The use of earlier problems and the separation of similarity effects.” Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 13, 456–468.

49 Ross, B. H. (1989). “Distinguishing types of superficial similarities: Different effects on the access and use of earlier problems.” Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15, 629–639.

función de sus principios, haciendo hincapié en la comprensión conceptual. La solución satisfactoria de los problemas requiere la construcción de un modelo conceptual del problema y la aplicación de planes de solución que se basen en esos modelos. La calidad de sus modelos conceptuales es lo que más influye en la facilidad y adecuación con que se puede resolver el problema. Esos modelos conceptuales son representaciones mentales del patrón de información que se representa en el problema (Riley et al.⁵⁰). Cada tipo de problema (por ejemplo, de trabajo-energía, de cinemática, de dinámica de rotación en la física) requiere un modelo conceptual que describa el significado de cada una de las entidades del problema, las relaciones causales entre esas entidades, así como las ecuaciones necesarias para resolver el problema. Cuando los estudiantes intentan comprender un problema de una sola manera, especialmente cuando esa manera no transmite información conceptual sobre el problema, los estudiantes no comprenden los sistemas subyacentes en los que están trabajando. Por lo tanto, es necesario ayudar a los estudiantes a construir un modelo cualitativo del problema así como uno cuantitativo. Los modelos cualitativos limitan y facilitan la construcción de representaciones cuantitativas (Ploetzner et al.⁵¹). Ploetzner et al.⁵² demostraron que cuando se resuelven problemas de física las representaciones cualitativas del problema son requisitos previos necesarios para el aprendizaje de las representaciones cuantitativas. La representación cualitativa es un eslabón perdido en la resolución de problemas en novicios.”

4.3 Resolución de problemas desde el punto de vista de la Investigación en Educación de la Física (PER)

En el trabajo de Coller⁵³ se les planteó a siete estudiantes de segundo año de la carrera de ingeniería, quienes habían obtenido buenas calificaciones en el curso, algunas preguntas conceptuales de múltiple opción que debían resolver cualitativamente. Paralelamente, se les pidió a los estudiantes que escribieran sus pensamientos mientras trabajaban en los problemas conceptuales. Típicamente esos ejercicios podían resolverse aplicando diagramas de cuerpo libre y efectuando razonamientos de un tipo que ya habían hecho durante el curso a través de problemas en los que la resolución que habían hecho era analítica y no cualitativa. A continuación se transcriben algunos conceptos expresados por Coller:

“Si sólo miráramos las respuestas que los estudiantes dieron a las preguntas conceptuales de múltiple opción, colectivamente, obtuvieron 18 de las 28 preguntas

-
- 50 Riley, M. S., y Greeno, J. G. (1988). “Developmental analysis of understanding language about quantities and of solving problems.” *Cognition and instruction*, 5(1), 49–101. Disponible en Timbó a abril 2020 en https://www-jstor-org.proxy.timbo.org.uy/tc/accept?origin=%2Fstable%2Fpdf%2F3233609.pdf%3Fab_segments%3D0%252Fbasic_SYC-5152%252Ftest%26refreqid%3Dsearch%253Adfbcb32c9ecec48f7bc237d181aeb96&is_image=False
- 51 Ploetzner, R., y Spada, H. (1998). “Constructing quantitative problem representations on the basis of qualitative reasoning.” *Interactive Learning Environments*, 5, 95–107.
- 52 Ploetzner, R., Fehse, E., Kneser, C., y Spada, H. (1999). “Learning to relate qualitative and quantitative problem representations in a model-based setting for collaborative problem solving.” *Journal of the Learning Sciences*, 8(2), 177–214. Disponible en Timbó a abril 2020 en <https://www-jstor-org.proxy.timbo.org.uy/stable/pdf/1466694.pdf?refreqid=excelsior%3A55c02e9bc8694a560b43d93a9d9c6cb7>
- 53 Coller, B. (2015) “A Glimpse into How Students Solve Concept Problems in Rigid Body Dynamics” 2015 ASEE Annual Conference and Exposition, Seattle, Washington. Disponible a abril 2020 en http://research.engr.oregonstate.edu/koretsky/sites/research.engr.oregonstate.edu/koretsky/files/reading-group-docs/coller_asee_2015.pdf

correctas. Eso es el 64%. Sin embargo, mirando más cuidadosamente las respuestas de los estudiantes, encuentro difícil justificar el dar a los estudiantes algún crédito. Los estudiantes no proporcionaron lo que yo consideraría una justificación adecuada a ninguna de las respuestas correctas.

Para ser claros, estos estudiantes no son tontos. De hecho, dos de los estudiantes de este grupo en particular recibieron casi el 100% de crédito en las seis preguntas de resolución de problemas de forma larga que se les pidió que completaran como parte de sus exámenes parciales y finales. La rúbrica para calificar esas preguntas del examen pondera más el proceso de resolución de problemas que la corrección de la respuesta final. Por lo tanto, las altas puntuaciones obtenidas en sus exámenes indican que podían dibujar diagramas de cuerpos libres perfectos; podían elegir un principio físico apropiado para utilizarlo; podían aplicar correctamente el principio para derivar ecuaciones de movimiento; podían resolver las ecuaciones para las cantidades de interés; podían verificar las unidades en sus respuestas; y podían interpretar los resultados. Los siete estudiantes podían hacerlo. Sin embargo, en los problemas conceptuales aquí estudiados, lo que fallaba era el proceso sistemático de pensar en un problema, de tener en cuenta todas las fuerzas pertinentes (diagrama de cuerpo libre), de conectar el fenómeno con un principio físico y de aislar la cantidad de interés.

Una cosa que este estudio demuestra es que las preguntas conceptuales cualitativas son fundamentalmente diferentes en la mente de los estudiantes, de los problemas cuantitativos habituales que se encuentran en los libros de texto. Los expertos vemos ambos tipos de preguntas como parte de la misma cosa. Aplicamos el mismo razonamiento físico a ambos. De hecho, podemos considerar que las preguntas conceptuales son más fáciles ya que no tenemos que hacer cálculos. Los estudiantes de dinámica abordan estos problemas de forma muy diferente.”

En ese mismo artículo, Collier hace reflexiones:

“Un examen de los libros de texto típicos del curso estándar de dinámica de segundo año de ingeniería revela que la gran mayoría de los problemas propuestos y de ejemplos son de naturaleza cuantitativa. Le piden al estudiante que encuentre el porcentaje de energía perdida...; determine la distancia recorrida...; calcule la fuerza normal...; calcule la velocidad máxima... En la enseñanza de la dinámica de la ingeniería, nos centramos en un proceso sistemático de resolución de problemas que permitirá a los estudiantes responder a tales preguntas. Como lo caracterizan McCracken et al,⁴², la resolución de problemas de dinámica es un proceso de transformación de un problema en una serie de representaciones diferentes. En el libro de texto, el problema comienza en forma textual y pictórica. El estudiante debe transformarlo en una representación diagramática en forma de un diagrama de cuerpo libre, y luego en una representación simbólica que pueda ser manipulada matemáticamente para resolver por cantidades de interés. A lo largo del semestre, aplicamos este proceso a los problemas usando directamente la segunda Ley de Newton; usando el principio de trabajo-energía; y usando el principio de impulso-momento. Lo aplicamos a cuerpos que pueden ser tratados como partículas, como sistemas de partículas y como cuerpos rígidos con inercia rotacional. Normalmente,

decimos que un estudiante tiene éxito en el curso si puede aplicar con éxito este proceso de resolución de problemas a una serie de preguntas de examen cuantitativas de naturaleza similar a los problemas de los deberes del libro de texto.

En su libro, Eric Mazur⁵⁴ describe una evolución en su enseñanza de la física introductoria. Inicialmente, describe su confianza en la enseñanza: "... mis estudiantes hicieron bien lo que yo consideraba problemas difíciles, y las evaluaciones que recibí fueron muy positivas." Sin embargo, después de leer los artículos de Halloun et al.³⁴ y Halloun et al.²⁵, Mazur decidió probar a sus estudiantes con una serie de preguntas conceptuales de múltiple opción. Para un experto, las preguntas conceptuales cualitativas tienden a parecer mucho más simples que las típicas preguntas de los libros de texto; se había eliminado la necesidad de realizar cálculos, dejando sólo una aplicación cualitativa del concepto. Algunas preguntas conceptuales pedían a los estudiantes que predijeran las consecuencias directas, pero tal vez contrarias a la intuición, de la tercera Ley de Newton. Otras preguntas conceptuales requerían que los estudiantes pensarán en un problema más profundamente, pero un simple diagrama de cuerpo libre y la aplicación directa de los principios físicos darían la respuesta adecuada. Para sorpresa de Mazur, sus estudiantes obtuvieron una puntuación significativamente peor en las preguntas conceptuales en comparación con las preguntas cuantitativas de resolución de problemas que había escrito en sus tareas y exámenes. Mi propia experiencia con el uso de las preguntas conceptuales cualitativas en la dinámica de la ingeniería ha sido muy similar. Cuando empecé a usar el Dynamics Concept Inventory⁵⁵ en 2006, los estudiantes se desempeñaban pobremente en tales preguntas conceptuales, incluso aquellos estudiantes que se desempeñaban bien en las preguntas cuantitativas tradicionales de resolución de problemas en tareas y exámenes. En el siguiente año, comencé a cubrir explícitamente la resolución cualitativa de problemas con preguntas conceptuales como parte formal del curso. Esta actividad se realizaba normalmente durante una sesión de recitación semanal en la que el tamaño de la clase era menor y era más conveniente realizar una actividad de Think-Pair-Share⁵⁶, no muy diferente de la pedagogía de instrucción de pares de Mazur⁵⁴. Cuando pido a los estudiantes que expliquen sus respuestas a las preguntas conceptuales cualitativas, me sorprendió descubrir que los estudiantes rara vez dibujaban diagramas de cuerpo libre. Ignoraban los principios físicos discutidos en clase y, en cambio, se basaban en su propia intuición física. Mazur informó algo similar cuando recordó a un estudiante preguntando, ‘... ¿Cómo debo responder a estas preguntas? ¿De acuerdo a lo que nos enseñó, o por la forma en que pienso acerca de estas cosas?’”

54 Mazur, E., (1997) "Peer Instruction: A User's Manual", Prentice Hall

55 Gray, G.L.; Costanzo, F.; Evans, D.; Cornwell, P.; Self, B. y Lane, J. L. (2005) "The Dynamics Concept Inventory assessment test: A progress report and some results." en Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference. 2005. Disponible a mayo 2020 en https://www.researchgate.net/profile/Brian_Self/publication/240743911_The_Dynamics_Concept_Inventory_Assessment_Test_A_Progress_Report_and_Some_Results/links/00463529fc0f4ec869000000.pdf

56 Lymna, F., (1981) "The responsive classroom discussion" en Mainstreaming Digest, A.S. Anderson, Editor. 1981, University of Maryland College of Education: College Park, MD.

5 Actitudes y creencias sobre enseñanza y aprendizaje

5.1 Estudiantes

En el trabajo de Elby,⁵⁷ se les preguntó a un grupo de estudiantes cómo distribuían su tiempo de estudio de física entre a) conceptos, b) fórmulas, c) problemas de práctica y d) ejemplos de la vida real. Por ejemplo, sobre fórmulas, la encuesta pregunta,

“Cuando estudias para un examen, ¿qué es lo que mejor caracteriza a tu actitud de familiarizarte con las fórmulas?

- a) Como no son realmente lo que se testea, no son muy importantes, valen menos del 5% de mi tiempo de estudio.
- b) Son un poco importantes, pero no tanto como otras cosas (como las técnicas de resolución de problemas o los conceptos cualitativos). Valen entre el 5% y el 10% de mi tiempo de estudio.
- c) Estar muy familiarizado con las fórmulas es algo importante, vale entre el 10% y el 20% de mi tiempo de estudio.
- d) Estar muy familiarizado con las fórmulas es bastante importante, vale entre el 20% y el 30% de mi tiempo de estudio.
- e) Estar muy familiarizado con las fórmulas es muy importante, vale entre el 30% y el 40% de mi tiempo de estudio.
- f) Estar muy familiarizado con las fórmulas es esencial, vale más del 40% de mi tiempo de estudio.

La encuesta hace esencialmente la misma pregunta sobre conceptos, ejemplos de la vida real y problemas de la práctica, con las mismas opciones a) a f).

La encuesta también pide a los estudiantes que imaginen a Diana, ‘una estudiante como tú, con las mismas habilidades, conocimientos previos y limitaciones de tiempo. A Diana no le importa su calificación en el curso; de hecho, ella está tomando el curso pasa-no pasa⁵⁸. Por lo tanto, ella no necesita preocuparse por las calificaciones. Su objetivo es simplemente entender la física más profundamente...’

El cuestionario pregunta cómo debe Diana distribuir su tiempo de estudio entre conceptos, fórmulas, problemas de práctica y ejemplos de la vida real, usando de nuevo las seis opciones mencionadas anteriormente. Los encuestados también deben explicar por qué Diana debería estudiar de esta manera.”

Entre otros resultados, se obtuvo que “Los estudiantes sistemáticamente ‘distorsionan’⁵⁹ sus hábitos de estudio. Pasan más tiempo enfocándose en fórmulas y problemas de práctica y menos tiempo enfocándose en conceptos y ejemplos de la

57 Elby, A. (1999). “Another reason that physics students learn by rote. *Am. J. Phys.* 67, S52-S57 (1999); doi: 10.1119/1.19081. Disponible a mayo 2020 en https://jimi.cbee.oregonstate.edu/concept_warehouse/content/Elby1999.pdf

58 Sistema en el que no hay calificaciones, simplemente se pasa o no el curso.

59 La ‘distorsión’ es la medida de la diferencia entre los porcentajes que atribuyen a Diana y sus propios porcentajes.

vida real de lo que le harían pasar a Diana. La mayoría de los estudiantes que distorsionan sustancialmente sus hábitos de estudio creen que si no lo hacen, obtendrán calificaciones más bajas. Otro gran grupo de estudiantes cree que una comprensión profunda puede llevar a buenas calificaciones, pero que la memorización también puede llevar a buenas notas.”

“Cuando se les preguntó qué tan bien le iría a Diana en el curso muchos estudiantes escribieron comentarios como

- ◆ Nuestras calificaciones se basan en pruebas que nos piden fórmulas, etc., elementos que Diana puede pasar menos tiempo estudiando que nosotros.
- ◆ Debido a que [Diana] no está familiarizada con los problemas del práctico y las fórmulas, no las usará con la eficacia o rapidez suficiente para poder completar el examen a tiempo.
- ◆ Ella no se acostumbró a los problemas que son similares a los del examen. Puede que se equivoque en los cálculos.
- ◆ Pasar más tiempo en situaciones de la vida real en lugar de las preguntas ‘ideales’ que van en las pruebas, y leer material complementario en lugar de concentrarse en las fórmulas la hará un poco menos preparada para las pruebas.”

Como conclusión, el artículo termina expresando que “Algunos trabajos anteriores sobre los hábitos de estudio de los estudiantes se han centrado en sus creencias epistemológicas sobre la naturaleza del conocimiento de la física (ver Hammer⁶⁰) Esos estudios muestran que algunos estudiantes aprenden de memoria en parte porque tienen una concepción ingenua de lo que significa entender la física. En este estudio, sin embargo, me centré en otra causa de estos hábitos de estudio. Los estudiantes perciben que ‘tratar de entender la física profundamente’ es una actividad diferente a ‘buscar buenas calificaciones’. Específicamente, los estudiantes estudian de manera muy diferente a la que aconsejarían a alguien que estudiara en busca de un entendimiento profundo. Pasan tiempo extra enfocándose en fórmulas y problemas de práctica, a expensas de conceptos y ejemplos de la vida real.

Muchos estudiantes creen que una comprensión profunda no es suficiente, o al menos no es necesaria, para obtener altas calificaciones. En lugar de culpar a los estudiantes o a los instructores, especulo que deberíamos ver este fenómeno como el resultado de una interacción entre los hábitos y creencias que los estudiantes traen a sus clases de introducción a la física en la universidad y sus experiencias iniciales en esas clases.”

Redish⁶¹ menciona que el modelo más común que siguen los estudiantes para aprender física en sus clases es:

1. Escriba cada ecuación y ley que el profesor pone en el pizarrón que también esté en el libro.
2. Memorícelos, junto con la lista de fórmulas al final de cada capítulo.

60 Hammer, D. (1994) “Epistemological beliefs in introductory physics,” *Cognit. Instr.* 12 -2!, 151–183 (1994). Disponible a mayo 2020 en Timbó en https://www-jstor-org.proxy.timbo.org.uy/stable/pdf/10.2307/3233679.pdf?ab_segments=0%2Fbasic_SYC-5152%2Ftest&refreqid=search%3A51eb8fa1624f20e5733d75b2c1b306aa

61 Redish, E. (1994). “Implications of cognitive studies for teaching physics”. *American Journal of Physics*, 62(9), 796-803. Disponible a mayo 2020 en <http://www.physics.emory.edu/faculty/weeks/journal/redish-ajp94.pdf>

3. Haga suficientes tareas y problemas de fin de capítulo para reconocer qué fórmula se aplica a qué problema.
4. Apruebe el examen seleccionando las fórmulas correctas para el problema en el examen.
5. Borre toda la información del cerebro después del examen para hacer espacio para el siguiente conjunto de material.

Entre las especulaciones que hace Elby⁵⁷ de por qué pasa lo que observó, se encuentra: “¿Están en lo cierto los estudiantes en su percepción de que los exámenes de física recompensan - o al menos no castigan - los hábitos de estudio ‘distorsionados’? David Hammer⁶² describe a una estudiante ('Ellen') que comenzó el semestre persiguiendo un entendimiento conceptual. Pero rápidamente se vio abrumada por el ritmo del curso, y volvió a aprender de memoria para superar las tareas y los exámenes. Obtuvo una B+. Con el enfoque tradicional de enseñanza, la experiencia de Ellen puede ser común.”

¿Son consistentes esos resultados con la información que tenemos a nivel nacional? En la HDM 2008⁸ (hay consideraciones análogas en la HDM 2009⁹) se observa que un 78,7% de los estudiantes encuestados se inscribió a Facultad “por el placer que me produce saber más sobre temas que me atraen”. Sin embargo, al preguntarles el comportamiento en este momento, manifiestan “Un **44,8% de la población manifiesta hacer mayoritariamente como máximo lo que se le pide, y no más**⁶³. Estudiantes entrevistados manifiestan que les resultaría imposible hacer otra cosa que no sea lo que se pide pues no tienen tiempo suficiente ni siquiera para lo mínimo establecido, siendo esta una estrategia que consideran de ‘supervivencia’ y ‘eficiente’ de acuerdo a las exigencia de los cursos. En muchos casos siquiera encuentran motivo para realizar esfuerzo extra ya que no suelen verlo recompensado en los resultados de los cursos y exámenes. Este hallazgo es consistente con la manifestación **de sólo 22% de los estudiantes que indica emplear bibliografía extra para preparar los exámenes** (un 34% indica que nunca consulta) **frente a un 42% que respondía afirmativamente al ingreso**⁶³.” En otra parte del mismo trabajo se lee: “Aún una cantidad importante de estudiantes (28%) asegura interesarse solamente por los resultados de los ejercicios y no por el proceso de su resolución, lo que no es promotor de aprendizajes significativos, lo que sin embargo puede constituirse en una estrategia para ‘salvar’.”

5.2 Docentes

En McDermott⁶⁴ se expresa que “La instrucción en física introductoria se ha basado tradicionalmente en el punto de vista del docente sobre el tema y en la percepción del estudiante por parte del docente. La mayoría de los profesores de física están ansiosos por transmitir tanto su conocimiento como su entusiasmo. Esperan que sus estudiantes no sólo adquieran información y habilidades específicas, sino que también lleguen a apreciar la belleza y el poder que el físico encuentra en la física. Habiendo obtenido una visión particular después de horas, días, meses o años de esfuerzo intelectual, quieren compartir este conocimiento. Para evitar que los estudiantes pasen por las mismas dificultades, los instructores a menudo enseñan de arriba abajo, de lo general a lo particular. Las generalizaciones a menudo se formulan completamente cuando se introducen. Los estudiantes no participan activamente en el proceso de abstracción y generalización. Muy poco

62 Hammer, D. (1989) “Two approaches to learning physics,” Phys. Teach.27 (12),664–670 (1989). Disponible a mayo 2020 en <https://www.bhpsnj.org/cms/lib5/NJ01001806/Centricity/Domain/439/hammer.pdf>

63 En negrita en el original.

64 McDermott, L. C.(1993) “Guest Comment: How we teach and how students learn - A mismatch?,” Am. J. Phys.61, #4 295–298 (1993).

pensamiento inductivo está involucrado; el razonamiento es casi enteramente deductivo. Al presentar los principios generales y mostrar cómo aplicarlos en unos pocos casos especiales, los instructores esperan enseñar a los estudiantes a hacer lo mismo en nuevas situaciones.

Al recordar cómo se inspiraron en su propia experiencia con la física introductoria, muchos docentes tienden a pensar en los estudiantes como versiones más jóvenes de sí mismos. En realidad, tal descripción sólo se ajusta a una muy pequeña minoría. [...] El problema con el enfoque tradicional es que ignora la posibilidad de que la percepción de los estudiantes sea muy diferente a la del docente. Tal vez la mayoría de los estudiantes no están listos o no son capaces de aprender física de la manera en que se enseña normalmente la materia.”

Es importante que los docentes reflexionen sobre sus teorías sobre la enseñanza. En Yerushalmi et al.⁶⁵ se encuentra un resumen sobre una posible clasificación en tres paradigmas de enseñanza:

“Farnham-Diggory⁶⁶ identifica tres paradigmas que subyacen a la teoría de la instrucción: comportamiento, desarrollo y aprendizaje. Cada uno de ellos se basa en supuestos sobre la diferencia entre un novicio y un experto y el mecanismo clave de transformación de novicio a experto. A continuación se explican brevemente para poder compararlas con las creencias de los instructores de este estudio.

1. **Comportamiento:** La diferencia entre un novicio y un experto es cuantitativa - los expertos simplemente saben más que los novicios. La instrucción implica que un experto desglosa el conocimiento o las habilidades a aprender en una secuencia de pasos más pequeños. El papel de los estudiantes es dominar cada paso mediante la práctica y la repetición. El papel del maestro es presentar cada paso, proporcionar oportunidades para que los estudiantes practiquen y proporcionar los refuerzos apropiados para fomentar el éxito.
2. **Desarrollo:** La diferencia entre un novicio y un experto es cualitativa -los expertos tienen estructuras cognitivas diferentes a las de los novicios. Los estudiantes construyen activamente sus modelos mentales a través de un proceso de resolución del conflicto entre sus ideas existentes del mundo y nuevas percepciones discrepantes. La instrucción basada en esta teoría implica sondear los modelos existentes de los estudiantes, y luego crear actividades que;
 - ◆ desafíen sus modelos,
 - ◆ ayuden a los estudiantes a construir nuevos modelos, y
 - ◆ ayuden a los estudiantes a aplicar sus nuevos modelos a contextos novedosos.

El papel de los estudiantes es descubrir los eventos discrepantes en un material curricular cuidadosamente secuenciado. El papel del profesor es asegurar que los estudiantes participen en actividades que conduzcan a los eventos discrepantes

65 Yerushalmi, E.; Henderson, C.; Heller, K.; Heller, P. y Kuo, V. (2007) “Physics faculty beliefs and values about the teaching and learning of problem solving. I: Mapping the common core”, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 3, 020109 (2007). Disponible a mayo 2020 en <https://journals.aps.org/prper/pdf/10.1103/PhysRevSTPER.3.020109>

66 Farnham-Diggory, S, (1994) “Paradigms of Knowledge and Instruction”, Rev. Educ. Res.64, 463 (1994). Disponible a mayo 2020 en Timbó en https://www-jstor-org.proxy.timbo.org.uy/tc/accept?origin=%2Fstable%2Fpdf%2F1170679.pdf%3Fab_segments%3D0%25252Fbasic_SYC-5152%25252Ftest%26refreqid%3Dexcelsior%253Ab7abec422166ef9f18536a1a47a7c3df&is_image=False

deseados y que aprecien el evento como discrepante, y ayudar a los estudiantes a construir un nuevo modelo que sea consistente con sus experiencias.

3. Aprendizaje: La diferencia entre un novicio y un experto es su cultura de la práctica. Las unidades fundamentales de la instrucción son actividades significativas, ‘completas’, por ejemplo, la resolución de problemas auténticos, en contraposición a las actividades descontextualizadas de construcción de habilidades o de construcción de conceptos. El papel del estudiante es participar en actividades que simulan las del campo que está aprendiendo. Durante esas actividades, interactúan con sus compañeros y con su instructor para reflexionar sobre la conexión entre sus experiencias e ideas existentes y las ideas y procedimientos que caracterizan más estrechamente el campo. El papel del instructor es
 - ◆ modelar explícitamente las habilidades y procesos intelectuales de la disciplina,
 - ◆ entrenar a los estudiantes mientras usan los procedimientos de la disciplina para participar en actividades auténticas y
 - ◆ disminuir gradualmente este andamiaje de apoyo hasta que los estudiantes sean independientes.”

El propósito del trabajo Yerushalmi et al.⁶⁵ era construir un modelo para describir las creencias de los docentes de física que influyen en su elección de los materiales curriculares y la pedagogía cuando enseñan física introductoria.

Según Doktor et al.³, las investigaciones en PER y de la educación científica en general indican que a menudo las creencias y prácticas de los docentes son incompatibles entre sí. “Los investigadores llegaron a la conclusión de que estos instructores de física tenían creencias inestables, a menudo conflictivas, de naturaleza constructivista, mientras que sus acciones en el aula reflejaban un modelo tradicional de transmisión de información [Yerushalmi et al.⁶⁵]. Por ejemplo, el profesorado expresó la creencia de que los estudiantes debían ser alumnos reflexivos y resolver muchos problemas por su cuenta para ir adquiriendo gradualmente una comprensión de la física (un punto de vista basado en la investigación y el constructivismo), pero en general proporcionaban una orientación explícita en todos los materiales del curso, como la utilización de problemas que se dividen en partes (partes a, b, c, etc.) para orientar a los estudiantes a través de un procedimiento de resolución de problemas. Además, el profesorado experimentó un conflicto entre el punto de vista del ‘físico’, que valora las soluciones compactas y concisas de los problemas, y el punto de vista del ‘maestro’ de querer que los estudiantes comuniquen su razonamiento. Como resultado, los docentes no estaban dispuestos a penalizar a un estudiante que escribiera una respuesta muy escueta que pudiera interpretarse como un resultado correcto⁶⁷, como sí a los estudiantes que desarrollaran un razonamiento incorrecto que condujera a un resultado numérico correcto [Henderson et al.⁶⁸].”

67 Nota del suscrito: según Henderson et al.⁶⁸, en esta modalidad proyectan procesos de pensamiento correctos en la solución de los estudiantes. “Si bien casi todos los docentes informaron de que decían a los estudiantes que mostraran su razonamiento en las soluciones de los problemas, alrededor de la mitad calificaron las soluciones de los problemas de una manera que probablemente desanimaría a los estudiantes a mostrar este razonamiento.”

68 Henderson, C.; Yerushalmi, C. E.; Kuo, V.; Heller, P. y Heller, K. (2004) “Grading student problem solutions: The challenge of sending a consistent message” *Am. J. Phys.* 72, 164(2004). Disponible a mayo 2020 en https://www.researchgate.net/profile/Edit_Yerushalmi/publication/237064084_Grading_student_problem_solutions/The_challenge_of_sending_a_consistent_message/links/56544eb708ae4988a7b01b1c.pdf

6 Taxonomías revisitadas

El suscrito encontró tres taxonomías específicamente aplicadas a física, todas ellas dirigidas a clasificar *problemas* de física, aunque es claro que una acción sobre *problemas* de la disciplina tiene efectos sobre otras esferas como por ejemplo guiar objetivos educativos (ver el párrafo inicial de la Subsección 6.2). Una de las taxonomías está dirigida a física universitaria en general (Buick), una segunda dirigida a cursos preuniversitarios, (Bloom Taxonomy, Mathematical Models, Scope of Themes and Convergence) y la tercera a cursos universitarios de introducción a la física (Taxonomy of Introductory Physics Problem). Una comparación de las dos últimas taxonomías se puede encontrar en Hanáková et al.⁶⁹. En lo que sigue de esta Sección se resumirá brevemente primero la taxonomía de Buick, y luego se desarrollará la Taxonomy of Introductory Physics Problem (TIPP).

6.1 Taxonomía de Buick⁷⁰.

En su artículo, Buick examina algunas Taxonomías (la SOLO de Biggs⁷¹, la de Bloom⁷², la Mathematical Assessment Task Hierarchy (MATH) de Smith et al.⁷³, ver también Wood et al.⁷⁴). En base a algunas consideraciones, elaboró las siguientes categorías de niveles de conocimiento y comprensión:

- a) conocimiento de los hechos;
- b) comprensión;
- c) trabajo de libro;
- d) aplicación -previamente resuelto;
- e) aplicación - procedimiento de rutina;
- f) relación - dentro del tema; y
- g) relación - fuera del tema.

69 Hanáková, M. y Klivanec, D. (2016). Taxonomies of physics problems in physics education. CBU International Conference Proceedings, [S.l.], v. 4, p. 520-525, sep. 2016. ISSN 1805-9961. doi: <http://dx.doi.org/10.12955/cbup.v4.808>. Disponible a abril 2020 en https://ojs.journals.cz/index.php/CBUIC/article/view/808/pdf_75

70 Buick, J. M. (2011). Physics Assessment and the Development of a Taxonomy. European J of Physics, 2 (1), 12-27. Disponible a mayo 2020 en <http://eu-journal.org/index.php/EJPE/article/download/130/129>

71 Biggs, J. y Collis, K. (1982) "Evaluating the Quality of Learning: The SOLO taxonomy" (Academic, New York, 1982).

72 Bloom, B.S. (1956) "Taxonomy of Educational Objectives", Handbook I: The Cognitive Domain (David McKay, New York, 1956).

73 Smith, G., Wood, L., Coupland, M., Stephenson, B., Crawford, K. and Ball, G. (1996). "Constructing mathematical examinations to access a range of knowledge and skills", International Journal of Mathematical Education in Science and Technology 27: 65-77. Disponible a mayo 2020 en https://www.researchgate.net/profile/Leigh_Wood/publication/226328009_The_Secondary-tertiary_Interface/links/0f317534c8c1c1ace100000/The-Secondary-tertiary-Interface.pdf

74 Wood, L.N., Smith, G.H., Petocz, P. and Reid, A (2002). Correlation between student performance in linear algebra and categories of a taxonomy. En 2nd International Conference on the Teaching of Mathematics (at the undergraduate level). Crete, Greece, John Wiley & Sons. Disponible a mayo 2020 en <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED477837.pdf>

6.2 Taxonomía de Problemas de Introducción a la Física

Según el artículo de Teodorescu et al.⁷⁵, la TIPP fue creada con el fin de diseñar objetivos educativos, desarrollar evaluaciones que permitan valorar los procesos de componentes individuales del procedimiento de resolución de problemas de física, y para guiar el diseño del plan de estudios en los cursos de física introductoria, específicamente dentro del contexto de un plan de estudios de “habilidades de pensamiento”. Esta taxonomía está a su vez basada en otra más general, la “Nueva Taxonomía de Objetivos Educativos⁷⁶” de Marzano y Kendall, por lo que comenzaremos considerando esta última taxonomía.

6.2.1 Nueva Taxonomía de Objetivos Educativos (NTEO)⁷⁶

La NTEO es una propuesta de Marzano y Kendall para subsanar algunas deficiencias que entendieron mostraba la Taxonomía de Bloom, de allí el adjetivo “Nueva”. La taxonomía de Bloom, creada en 1956, es la más conocida y empleada y, por lo mismo, ha sido la más estudiada y criticada. En el libro de Marzano et al.⁷⁶, donde se explica ampliamente la NTEO, se establecen continuas comparaciones con la Taxonomía de Bloom.

Según los autores, la NTEO puede usarse para cumplir diversos objetivos (pp.13-16 de Marzano et al.⁷⁶):

- a) Formular objetivos o resultados esperados del aprendizaje observables, medibles y posibles de alcanzar durante el proceso de aprendizaje.
- b) Fijar un marco para diseñar evaluaciones.
- c) Establecer una herramienta para diseñar estándares.
- d) Sentar una estructura para diseñar planes de estudios y programas.
- e) Determinar una base para los currículos de habilidades del pensamiento.

A continuación se hará un resumen de las principales características de la NTEO. En el Anexo, se encuentra la NTEO llevada a un mayor nivel de detalle⁷⁷. La NTEO tiene dos dimensiones y puede ser planteada como una matriz donde una dimensión es la denominada de los dominios de conocimiento y la otra es la de los sistemas de pensamiento:

75 Teodorescu, R. E.; Bennhold, C.; Feldman, G. y Medsker, L. (2013) “New approach to analyzing physics problems: A Taxonomy of Introductory Physics Problems” Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. DOI:10.1103/PhysRevSTPER.9.010103 (2013). Disponible a abril 2020 en <https://journals.aps.org/prper/pdf/10.1103/PhysRevSTPER.9.010103>

76 Marzano R.J. y Kendall, J.S. (2007). “The new taxonomy of educational objectives.” Thousand Oaks, California, EE.UU.: Corwnin Press

77 Si se desean mayores detalles, se sugiere consultar Marzano et al⁷⁶.

			Dominios de conocimiento		
			Información	Procedimientos mentales	Psicomotor
Sistemas de pensamiento	Sistema Cognitivo	Recordación			
		Comprensión			
		Análisis			
		Utilización del conocimiento			
	Sistema Metacognitivo				
Sistema del yo (Self-system en inglés)					

6.2.1.1 Dominios de conocimiento

Proveen los contenidos necesarios, son tres:

1. **Dominio de información o conocimiento declarativo.** Está integrado por
 - 1.1. *Detalles*
 - 1.2. *Ideas organizativas*
2. **Dominio de procedimientos mentales o conocimiento procedimental.** Está integrado por
 - 2.1. *Habilidades*
 - 2.2. *Procesos*
3. **Dominio psicomotor.** Aparece por ejemplo cuando se aprende a ejecutar un instrumento musical. Está integrado por
 - 3.1. *Habilidades*
 - 3.2. *Procesos*

6.2.1.2 Sistemas de pensamiento

Son también tres, el *sistema cognitivo*, el *metacognitivo*, y el *self-system*. El *self-system* determina si el estudiante se dedicará o no a una tarea determinada; también determina cuánta energía aportará a la tarea. Una vez que el estudiante determina dedicarse a una tarea, el *sistema metacognitivo* monitorea, evalúa y regula el funcionamiento del *sistema cognitivo*. Más específicamente:

1. **Sistema cognitivo.** Es responsable del procesamiento efectivo de la información que es esencial para la realización de una tarea, o de operaciones analíticas como hacer inferencias, comparar, clasificar, etc. A su vez se divide en cuatro procesos, cada uno de los cuales requiere del anterior:
 - 1.1. *Recordación.* Implica recordar información como fue almacenada en la memoria.
 - 1.2. *Comprensión.* Implica identificar detalles de la información que son importantes, o ubicar información en la categoría adecuada.
 - 1.3. *Análisis.* Implica utilizar lo que se ha aprendido para crear nuevos conocimientos y aplicarlo en situaciones nuevas.

- 1.4. Utilización del conocimiento.
2. **Sistema metacognitivo.** Elabora el plan de acción para llevar adelante el aprendizaje. Tiene cuatro funciones:
 - 2.1. Especificación de objetivos. Una vez que el self-system toma la decisión de participar, es el sistema metacognitivo el que establece un objetivo relativo a esa actividad.
 - 2.2. Vigilancia del proceso. Monitorea la efectividad de un proceso llevado adelante al ejecutar una tarea.
 - 2.3. Vigilancia de la claridad.
 - 2.4. Vigilancia de la exactitud.
3. **Sistema del yo (en inglés, “self-system”).** El self-system determina si un individuo se dedicará o no a una tarea determinada; también determina cuánta energía (motivación) aportará el individuo a la tarea. Hay cuatro tipos de pensamiento self-system que son relevantes:
 - 3.1. Examen de la importancia. Uno de los principales factores determinantes de si una persona atiende a un determinado tipo de conocimiento es si esa persona considera que el conocimiento es importante.
 - 3.2. Examen de la eficacia. Implica el examen de la medida en que los estudiantes creen que tienen la capacidad, el poder o los recursos necesarios para adquirir competencia en relación con un componente de conocimiento específico.
 - 3.3. Examen de la respuesta emocional. Implica analizar el grado en que el estudiante tiene una respuesta emocional a un determinado componente del conocimiento y el papel que esa respuesta juega en su motivación.
 - 3.4. Examen de la motivación general. Es el proceso de identificar el propio nivel de motivación para aprender o aumentar la competencia en un determinado componente del conocimiento y, a continuación, identificar las interrelaciones entre las propias creencias sobre la importancia, las creencias sobre la eficacia y la respuesta emocional que rigen el propio nivel de motivación.

Así como en la taxonomía de Bloom hay verbos que se recomiendan para acompañar los niveles cognitivos⁷⁸, también es posible encontrar verbos asociados a los procesos del sistema cognitivo en la nueva taxonomía de Marzano, ver por ejemplo p. 32 de Mitchell⁷⁹. El libro de Marzano et al.⁷⁶ continúa con capítulos en que se estudia la relación entre dominios de conocimiento y sistemas de pensamiento, y termina con algunos capítulos en los que desarrolla en general, las aplicaciones que en este documento se expusieron al comienzo de la Subsección 6.2.1 de este documento. A continuación se examinará brevemente la TIPP, que es una aplicación de la NTEO.

78 Ver el apéndice de Objetivos de aprendizaje y currículo orientado.

79 Mitchel, H. M. (2014) “Using blogging to increase science content knowledge and transfer” Tesis presentada para obtener el título de máster en la Montana State University. Disponible a abril 2020 en <https://scholarworks.montana.edu/xmlui/bitstream/handle/1/3580/MitchellH0814.pdf;sequence=1>

6.2.2 Taxonomía de Problemas de Introducción a la Física (TIPP)

En Teodorescu et al.⁷⁵ se explica el procedimiento usado para desarrollar la TIPP, que “es esencialmente una aplicación de la NTEO al contexto de resolver problemas de física”:

1. “Consideramos los procesos cognitivos y los dominios de conocimiento que los investigadores del PER [Beatty⁸⁰, Ross⁸¹, Tuminaro et al.⁸²] identificaron como relevantes para la resolución de problemas de física.
2. Buscamos entre las taxonomías de los objetivos educativos [Bloom⁷², Anderson et al.⁸³, Haladyna⁸⁴, Hannah et al.⁸⁵, Biggs et al.⁷¹, Marzano et al.⁷⁶] y encontramos una que presenta el proceso de resolución de problemas consistente con los hallazgos del PER.
3. Desarrollamos un algoritmo que utiliza esta taxonomía para clasificar los problemas de física de acuerdo con los procesos cognitivos y el conocimiento que implican.
4. Construimos el TIPP que es una base de datos que contiene problemas de física basados en texto y en investigación que explica sus relaciones con los procesos cognitivos y el conocimiento.
5. Evaluamos la validez y fiabilidad del TIPP.”

El resultado de la etapa 2. consistió en seleccionar la NTEO. A los efectos de la elaboración de la TIPP, los proponentes se restringieron en una primera etapa al nivel 1 de los sistemas de pensamiento, es decir, al sistema cognitivo. “Sin embargo, queremos reconocer que creemos que los niveles 2 y 3 son importantes para la resolución de problemas de física. Se sabe que lo que los estudiantes creen sobre la física como ciencia y lo que esperan de sus cursos de física puede determinar su actitud y motivación hacia el proceso de aprendizaje de la física [Halloun et al.⁸⁶, Adams et al.⁸⁷, Redish et al.⁸⁸, Elby⁸⁹].”.

A continuación, cumpliendo con el punto 3. del procedimiento anteriormente señalado, se consideraron algunos procesos cognitivos que los físicos poseen y los estudiantes deberían

80 Beatty, I.D.; Gerace, W.; Leonard, W. y Dufresene, J. (2006) “Designing effective questions for classroom response system teaching” Am. J. Phys. 74, 31 (2006). Disponible a abril 2020 en <https://arxiv.org/pdf/physics/0508114.pdf>

81 Ross, B. H. “Cognitive science: Problem solving and learning for physics education”, in Proceedings of the 2007 Physics Education Research Conference, Greensboro, NC. Disponible a abril 2020 en <https://www.compadre.org/per/items/2015.pdf>

82 Tuminaro, J. y Redish, E. F. (2007) “Elements of a cognitive model of physics problem solving: Epistemic games,” Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 3, 020101 (2007). Disponible a abril 2020 en <https://journals.aps.org/prper/pdf/10.1103/PhysRevSTPER.3.020101>

83 Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R.; Airasian, P. W.; Cruikshank, K. A.; Mayer, R. E.; Pintrich, P. R.; J. Rath, J. y Wittrock, M. C. (2001) “A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing. A Revision of Bloom’s Taxonomy of Educational Objectives” (Addison-Wesley, New York, 2001).

84 Haladyna, T. M. (1997) “Writing Test Items to Evaluate Higher Order Thinking” (Allyn & Bacon, Boston, MA, 1997)

85 Hannah, L. S. y Michaelis, J. U. (1997) “A Comprehensive Framework for Instructional Objectives: A Guide to Systematic Planning and Evaluation” (Addison-Wesley, Reading, MA, 1977).

86 Halloun I. y Hestenes, D. (1998) “Interpreting VASS dimensions and profiles for physics students”, Sci. Educ. 7, 553 (1998). Disponible a mayo 2020 en <http://umdberg.pbworks.com/w/file/attach/38478710/IntrVASS.pdf>

87 Adams, W. K.; Perkins, K. K.; Podolefsky, N. S.; Dubson, M.; Finkelstein, N. D. y Weiman, C. E. (2006) “A new instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey”, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 2, 010101 (2006). Disponible a mayo 2020 en <https://journals.aps.org/prper/pdf/10.1103/PhysRevSTPER.2.010101>

88 Redish, E. F.; Steinberg, R. N. y Saul, J. M. (1998) “Student expectations in introductory physics”, Am. J. Phys. 66, 212 (1998). Disponible a mayo 2020 en <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED438185.pdf>

89 Elby, A. (2001) “Helping physics students learn how to learn”, Am. J. Phys., 69, S54 (2001);

desarrollar (Beatty⁸⁰) y enfoques que los estudiantes deberían seguir al resolver problemas (Tuminaro et al.⁸²) y a partir de ellos se hizo una correspondencia con los niveles del proceso cognitivo (ver tablas II y III de Teodorescu et al.⁷⁵).

Para cumplir con el punto 4. se definieron los procesos cognitivos y se especificó cómo actúan en los dominios de la información y procesos mentales. Para cada caso, se dieron ejemplos de problemas de física que implican esos procesos. Se tuvo en cuenta que en un problema de física, cada proceso cognitivo opera tanto en el dominio de la información como el de los procedimientos mentales involucrados. Como regla general, “problemas de información” se enfocan en contenidos de conocimiento, y “procedimientos mentales”, en cómo se resolvería el problema. Un cierto problema se clasifica según dos criterios:

- el tipo de conocimiento involucrado en el problema ya sea la información o los procedimientos mentales
- el proceso cognitivo más complejo que es necesario para resolverlo (tanto para la información como para los procedimientos mentales).

En cada caso, conjuntamente con el llenado de las celdas de la matriz mencionada en la NTEO⁹⁰ con ejercicios concretos, se evaluó cuántos ejercicios había tanto en los libros de texto usuales como en la literatura generada por la PER. Para tener más detalles de la base de datos mencionada en la etapa 4 se sugiere ir a la Sección IV de Teodorescu et al.⁷⁵, que el suscrito cree está ampliamente descrita.

El documento culmina con un análisis de la validez (¿mide la TIPP lo que debe medir?) y la fiabilidad (¿produce los mismos resultados cuando distintas personas clasifican problemas de acuerdo a la TIPP?). La validez fue testeada en un procedimiento de tres fases, básicamente a través de consultas con expertos. La confiabilidad fue también probada en un procedimiento de tres fases, cuando distintas personas clasificaron problemas. Ambos test tuvieron resultados satisfactorios, si bien se reconoce que en cuanto a la fiabilidad, se necesita cierto entrenamiento. Aunque es una guía importante, por sí sola la TIPP no evita completamente que distintos docentes tengan diferentes percepciones sobre la dificultad de algunos problemas.

7 Algunos comentarios

En lo que respecta a “cursos críticos” el suscrito opina que debería trabajarse más en el tema. Por la variedad de causas por las que un curso pueda ser denominado curso crítico (Sección 2), no debería buscarse su definición por medio de porcentajes de aprobación, cuando menos en todos los casos. En algunos casos en que fuera pertinente definirlos por medio de porcentajes de aprobación, el mismo podría variar en función de su posición en un diagrama de flujo de las implementaciones más típicas en cada carrera. Las que estén en ciertas posiciones neurálgicas podrían ser cursos críticos con porcentajes de aprobación más altos que otra que esté en una posición marginal. En todo caso, un mejor indicador que porcentajes de aprobación o exoneración sobre inscriptos estaría dada por porcentajes sobre los que registran alguna actividad en la unidad curricular, para lo que quizá haya que mantener registro de parciales y trabajos en los cursos. Seguramente la respuesta institucional a los cursos críticos no debe darse en forma global, sino examinando cada caso particular y actuando en consecuencia.

90 Que tiene más celdas que la matriz presentada en este trabajo en la Subsección 6.2.1 porque consideraron subítems que por simplicidad no fueron contemplados en la mencionada Subsección.

La evidencia internacional muestra que la mente de los estudiantes no llega a la universidad como una tabula rasa, a la que la función del docente es llenarla con contenidos. Al ingresar a universidad hay preconceptos y formas de razonar particulares y persistentes que en algunos casos pueden llegar a oponerse a los aprendizajes. También internacionalmente se mencionan acciones para intentar revertir esta situación. En este trabajo el suscrito no ha desarrollado este último tema⁷ (aunque tangencialmente, en el artículo mencionado de Poutot et al²¹ se expresa un intento de resolverlo mediante una modalidad de aprendizaje basada en problemas, la que no dio los resultados esperados).

En cuanto al tema específico Resolución de problemas, se mencionaron dos aspectos que eventualmente deberían ser tenidos en cuenta: por un lado, el carácter bien estructurado de los problemas que usualmente son propuestos a los estudiantes frente a los “problemas de la realidad” que un ingeniero debe resolver, por otro, en qué medida los problemas son una herramienta para alcanzar aprendizajes significativos. En cuanto al primer aspecto, los proyectos de final de carrera de Facultad pueden ser una excepción al planteo de problemas bien estructurados, de ahí su importancia, dada no solamente como síntesis de conocimientos recibidos en la carrera, sino como oportunidad de enfrentarse a “problemas de la realidad”. La pregunta es si está graduada de alguna manera en la carrera el pasaje de la resolución de problemas bien estructurados (que deben existir) a la de “problemas de la realidad”. Unidades curriculares como el Tallere pueden ser un tipo de respuesta.

Una estrategia docente de plantear problemas como medio central de aprendizaje no necesariamente conduce a una mejor comprensión conceptual. Hay estudiantes que perciben que la comprensión conceptual no es necesaria para aprobar determinados cursos, y que también estiman en ciertos casos que para aprobar el curso es más económico desarrollar la habilidad de resolver problemas mediante el procedimiento denominado en la literatura “plug-and-chug”, sin alcanzar aprendizajes significativos. Le es inevitable al suscrito recordar el curso de Análisis Matemático de segundo año de Preparatorios que cursó, en que el tema de estudio analítico y representación gráfica de funciones se convirtió en un objetivo en sí mismo, en lugar de ser un medio para entender conceptos. En esa asignatura era condición necesaria y casi suficiente para aprobar el examen (no había exoneración) el dominar una serie de algoritmos para representar gráficamente funciones.

En este documento se mostró que estudios hechos en Facultad evidencian que al menos en porcentajes no menores de estudiantes, los problemas mencionados en los trabajos a nivel internacional aparecen también aquí. Tanto la HDM 2008⁸ como la 2009⁹ señalan que es posible avanzar sustancialmente en la carrera sin necesariamente hacer aprendizajes significativos. Por ejemplo, en la HDM 2008⁸ se lee: “En lo que refiere a estrategias de aprendizaje, podemos destacar que un 20,5% de los estudiantes manifiesta estudiar memorizando todos los temas y un 41,6% lo hace particularmente frente a aquellos temas que les resultan de difícil comprensión. Si consideramos además que 20,5% durante la preparación de los exámenes estudia sólo los temas que preguntan siempre, es importante continuar trabajando con los estudiantes actividades relativas a las estrategias de aprendizaje específicas de cada disciplina, pues recordamos que lamentablemente se desarrollan estrategias que permiten salvar exámenes aunque no se puede asegurar que los estudiantes hayan logrado aprendizajes significativos.” Más adelante, se lee: “Un 25% de la población manifiesta que cuando no entiende algo en clase se queda con la duda la mayor parte de las ocasiones, no recurriendo ni a consultar al docente ni a sus pares, siendo este porcentaje ligeramente mayor que al ingreso, resulta preocupante que los estudiantes no hayan cambiado esta

estrategia no recomendable si se tiene como meta aprender. Más preocupante aún, frente a la pregunta ‘cuando no entiendo algo consulto al profesor’ se obtiene un 30% menos de respuestas afirmativas comparando ingresantes (72%) con estudiantes que rindieron HDM (43%). Sin embargo no sorprende ya que es consistente con los resultados obtenidos a partir tanto de entrevistas como de observaciones de clase en distintas asignaturas de las distintas carreras.” En la terminología de NTEO, todo apunta a que es posible avanzar significativamente en la carrera⁹¹ utilizando esencialmente los sistemas de pensamiento inferiores (específicamente, recordación) tanto en los dominios de conocimiento de la información como de los procedimientos mentales⁹².

Parece necesario revisar los objetivos de aprendizaje de las carreras en general, y de las unidades curriculares en particular. Una forma de hacerlo es tomando como marco una taxonomía de aprendizaje (que es lo que se ha hecho con la NTEO en el caso del curso de introducción a la física mencionado en el documento). Sería un primer paso, que deberá ser complementado por acciones posteriores, para resolver o al menos atenuar los problemas señalados en el presente documento, que el suscrito entiende existen en Facultad.

Heber Enrich
Mayo 2020

91 Las HDM se aplicaron a estudiantes que habían obtenido entre 150 y 200 créditos

92 O, en la taxonomía de Bloom, usando el nivel inferior de la dimensión cognitiva: conocimiento.

Anexo: Nueva Taxonomía de Objetivos Educativos. (Dominios de conocimiento y sistemas de pensamiento: tomado de Marzano et al.⁷⁶)

1 Dominios de conocimiento

Proveen los contenidos necesarios, son tres:

1. **Dominio de información o conocimiento declarativo.** Está integrado por
 - 1.1. Detalles
 - 1.1.1. *Vocabulario.* Son conocimientos básicos informativos.
 - 1.1.2. *Hechos.* Contenido informativo que contiene muchos términos de vocabulario.
 - 1.1.3. *Secuencias temporales.* Descripción de sucesos con componente temporal.
 - 1.2. Ideas organizativas
 - 1.2.1. *Generalizaciones.* Son declaraciones para las que se pueden dar ejemplos.
 - 1.2.2. *Principios.* Son tipos específicos de generalizaciones que tratan con relaciones
2. **Dominio de procedimientos mentales o conocimiento procedimental.** Está integrado por
 - 2.1. Habilidades
 - 2.1.1. *Reglas.* Son procesos mentales involucrando un paso o unos pocos pasos simples.
 - 2.1.2. *Algoritmos.* Son un conjunto de pasos específicos ejecutados en un cierto orden.
 - 2.1.3. *Tácticas.* Son un conjunto de pasos no necesariamente ejecutados en un cierto orden.
 - 2.2. Procesos
 - 2.2.1. *Macroprocesos.* Son procesos complejos que involucran muchos subprocesos.
3. **Dominio psicomotor.** Aparece por ejemplo cuando se aprende a ejecutar un instrumento musical. No se hará énfasis en este elemento porque parece de menos interés a nuestros fines. De todas maneras, está integrado por
 - 3.1. Habilidades
 - 3.1.1. *Procedimientos fundacionales.*
 - 3.1.2. *Procedimientos de combinación simples.*
 - 3.2. Procesos

3.2.1. *Procedimientos de combinación complejos.*

2 Sistemas de pensamiento

Son también tres, el *sistema cognitivo*, el *metacognitivo*, y el *self-system*. El *self-system* determina si el estudiante se dedicará o no a una tarea determinada; también determina cuánta energía aportará a la tarea. Una vez que el estudiante determina dedicarse a una tarea, el *sistema metacognitivo* monitorea, evalúa y regula el funcionamiento del *sistema cognitivo*. Más específicamente:

1. **Sistema cognitivo.** Es responsable del procesamiento efectivo de la información que es esencial para la realización de una tarea, o de operaciones analíticas como hacer inferencias, comparar, clasificar, etc. A su vez se divide en cuatro procesos, cada uno de los cuales requiere del anterior:

- 1.1. *Recordación.* Implica recordar información como fue almacenada en la memoria. Tiene varias categorías:

- 1.1.1. *Memorización.* Es la simple coincidencia de un determinado estímulo con la información de la memoria permanente.

- 1.1.2. *Reconocimiento.* Requiere cierto nivel de memorización y además la producción de información relacionada.

- 1.1.3. *Ejecución.* Implica realizar un procedimiento o una tarea necesaria para resolver un problema sin errores significativos (pero sin comprender necesariamente cómo y por qué funciona el procedimiento). No se aplica al dominio de la información porque la información no puede ser ejecutada.

- 1.2. *Comprensión.* Implica identificar detalles de la información que son importantes, o ubicar información en la categoría adecuada. Este ítem tiene dos categorías:

- 1.2.1. *Integración.* Es el proceso de simplificar el conocimiento hasta sus características clave, organizándolo de forma simple y generalizada, técnicamente conocida como macroestructura.

- 1.2.2. *Representación.* Es la creación de un análogo simbólico del conocimiento contenido en una macroestructura.

- 1.3. *Análisis.* Implica utilizar lo que se ha aprendido para crear nuevos conocimientos y aplicarlo en situaciones nuevas. Está integrado a su vez por:

- 1.3.1. *Relacionamiento.* Implica identificar similitudes y diferencias importantes entre conocimientos.

- 1.3.2. *Clasificación.* Implica clasificar el conocimiento en categorías significativas.

- 1.3.3. *Realización de análisis de errores.* Implica 1) juzgar conscientemente la validez de los conocimientos sobre la base de criterios explícitos y 2) identificar cualquier error de razonamiento que se haya presentado.

- 1.3.4. *Generalización.* Es el proceso de construir nuevas generalizaciones a partir de la información ya conocida u observada. Es un concepto algo complejo, es conveniente ir a la fuente (Marzano et al⁷⁶) para su comprensión.

- 1.3.5. *Especificación*. Es el proceso de generar nuevas aplicaciones de una generalización o principio conocido.
- 1.4. *Utilización del conocimiento*. Tiene cuatro categorías:
- 1.4.1. *Toma de decisiones*. El estudiante debe seleccionar entre dos o más alternativas.
- 1.4.2. *Resolución de problemas*. El estudiante debe alcanzar una meta para la que existe algún obstáculo.
- 1.4.3. *Experimentación*. Es el proceso de generar y probar hipótesis con el fin de comprender algún fenómeno físico o psicológico.
- 1.4.4. *Investigación*. Es el proceso de generar y probar hipótesis
2. **Sistema metacognitivo**. Elabora el plan de acción para llevar adelante el aprendizaje. Tiene cuatro funciones:
- 2.1. *Especificación de objetivos*. Una vez que el self-system toma la decisión de participar, es el sistema metacognitivo el que establece un objetivo relativo a esa actividad.
- 2.2. *Vigilancia del proceso*. Monitorea la efectividad de un proceso llevado adelante al ejecutar una tarea.
- 2.3. *Vigilancia de la claridad*.
- 2.4. *Vigilancia de la exactitud*.
3. **Sistema del yo (en inglés, “self-system”)**. El self-system determina si un individuo se dedicará o no a una tarea determinada; también determina cuánta energía (motivación) aportará el individuo a la tarea. Hay cuatro tipos de pensamiento self-system que son relevantes:
- 3.1. *Examen de la importancia*. Uno de los principales factores determinantes de si una persona atiende a un determinado tipo de conocimiento es si esa persona considera que el conocimiento es importante.
- 3.2. *Examen de la eficacia*. Implica el examen de la medida en que los estudiantes creen que tienen la capacidad, el poder o los recursos necesarios para adquirir competencia en relación con un componente de conocimiento específico.
- 3.3. *Examen de la respuesta emocional*. Implica analizar el grado en que el estudiante tiene una respuesta emocional a un determinado componente del conocimiento y el papel que esa respuesta juega en su motivación.
- 3.4. *Examen de la motivación general*. Es el proceso de identificar el propio nivel de motivación para aprender o aumentar la competencia en un determinado componente del conocimiento y, a continuación, identificar las interrelaciones entre las propias creencias sobre la importancia, las creencias sobre la eficacia y la respuesta emocional que rigen el propio nivel de motivación.