



**N° de expediente: 060180-500813-20**

**Fecha: 04.12.2020**

**Universidad de la República Uruguay - UDELAR**



**ASUNTO**

**LA COMISIÓN DE CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA RESUELVE TENER EN CUENTA  
LOS DOCUMENTOS APORTADOS POR EL CLAUSTRO.**

<b>Unidad</b>	<b>COMISIONES - INGENIERIA</b>
<b>Tipo</b>	<b>RESOLUCIONES DEL CLAUSTRO</b>
Integrantes Orden	
Docente:	
Integrantes Orden	
Egresados:	
Integrantes Orden	
Estudiantil:	
Período desde:	
Período hasta:	
Solicitante:	

La presente impresión del expediente administrativo que se agrega se rige por lo dispuesto en la normativa siguiente: Art. 129 de la ley 16002, Art. 694 a 697 de la ley 16736, art. 25 de la ley 17.243; y decretos 55/998, 83/001 y Decreto reglamentario el uso de la firma digital de fecha 17/09/2003.-

	<b>Expediente Nro. 060180-500813-20</b> <b>Actuación 1</b>	Oficina: INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - INGENIERIA Fecha Recibido: 04/12/2020 Estado: Cursado
--	---	--

**TEXTO**

Firmado electrónicamente por MARTHA DELGADO/ProdUdelaR el 21/12/2020.

<b>Anexos</b>
clauastro.pdf
exp.pdf

Montevideo, 10 de diciembre de 2020

Sr. Presidente

Asamblea del Claustro de Facultad de Ingeniería

Prof. Marcelo Fiori

En respuesta a vuestra nota fechada en setiembre de este año respecto de los distribuidos 70, 62 y 63/2018-2020 , la Comisión de Carrera de Ingeniería en Sistemas de Comunicación (ISC) le manifiesta lo siguiente.

Los documentos fueron considerados en las sesiones de la comisión de fechas 10/11 y 8/12, además de haber organizado una reunión junto al Presidente y Vicepresidente de la Asamblea del Claustro e invitando a integrantes de la Comisión de Carrera de Ing. Eléctrica (instancia que resultó muy útil para aclarar algunos aspectos).

Vista la nota realizada por la Comisión de Ingeniería Eléctrica, la comisión de ISC concuerda en que los documentos son un aporte muy valioso para lo que se entiende debe ser un proceso de discusión y reflexión que la Facultad de Ingeniería debe dar sobre los objetivos del proceso de enseñanza-aprendizaje a nivel de unidades curriculares y de carreras.

En lo que refiere específicamente a ISC, esta es una carrera muy nueva que comenzó su implementación en el 2019. Además, es una carrera cuyo currículo se conforma de cursos (en su mayoría) tomados por otras carreras con vasta historia. En estos primeros años estamos enfocados en la definición, mejora y adaptación de los distintos trayectos posibles (o perfiles); y con seguridad varias de las herramientas compartidas nos serán de mucha utilidad. Se hace notar que los ejemplos (y mucho del análisis realizado) de los distribuidos se apoyan en cursos básicos (Matemáticas o Físicas), y en la comisión de carrera consideramos que no es directamente extrapolable todo el análisis a los cursos más avanzados de las carreras. Igualmente, tal como señala en su nota la Comisión de Ingeniería Eléctrica, este debe ser un proceso que realice en la Facultad en su conjunto y no alcanza con esfuerzos o iniciativas individuales a nivel de comisiones de carreras o de unidades curriculares en solitario.

Agradecemos vuestro aporte y les saludamos cordialmente.



*Sesión de Comisión de Carrera de Ingeniería Eléctrica de fecha 08/12/20 estando presentes: la Directora de Carrera: Claudina Rattaro; por el Orden Docente: Claudio Risso, Federico Rodriguez y Marcos Viera; y por el Orden de Egresados: Juan Braga. Se aprueba 5 en 5.*

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA



**ASAMBLEA DEL CLAUSTRO**  
Ejercicio 2018 – 2020

Montevideo, setiembre de 2020

Estimados directores de Instituto y Carrera

La Asamblea del Claustro de Facultad en la sesión ordinaria del mes de agosto resolvió compartir sus distribuidos ACF 70, 62 y 63/2018-2020.

Estos documentos están enfocados en la temática de objetivos de aprendizaje y pretenden examinar dicho tema a dos niveles, uno a nivel de unidades curriculares y otro a nivel de carreras. En forma accesoria pero no desconexa con el tema objetivos de aprendizaje se tocan otros tópicos, como por ejemplo unidades curriculares "cuello de botella" o actitudes y creencias en docentes y estudiantes sobre enseñanza y aprendizaje. El distribuido 70 es una introducción a los otros dos distribuidos.

Agradecemos que los consideren en sus ámbitos de actuación.

Quedamos a las órdenes para evacuar las dudas que puedan surgir y a la espera de la devolución que entiendan sea pertinente. La sinergia que pueda surgir permitirá evolucionar en la temática.

Atentamente,



Marcelo Fiori  
Presidente  
Asamblea del Claustro  
Facultad de Ingeniería

## Introducción a los distribuidos ACF 62 y 63/2018-2020

Los Distribuidos ACF 62 y 63/2018-2020 son dos documentos relacionados, ambos relativos a objetivos de aprendizaje. El tema que consideran ambos documentos se puede dividir en dos grandes partes con ramificaciones, una de las grandes partes es diagnóstico, la otra es una idea de camino para atacar el problema mencionado en el diagnóstico. En principio, para considerar el segundo tema sería necesario estar de acuerdo al menos parcial con el diagnóstico: si no se está de acuerdo, el segundo tema no debe considerarse.

El primero de los documentos es más general, el segundo documento pretende acercarse a un caso concreto. Para este último documento se eligió la disciplina Mecánica Newtoniana por un hecho circunstancial, a más de la abundante investigación que hay en física sobre educación.

El problema se refiere a prestar atención a objetivos de aprendizaje en dos niveles, uno a nivel de unidad curricular, el otro a nivel de carrera, para ambos hay consideraciones de diagnóstico como de propuesta de camino para atacarlos.

1. A nivel de unidad curricular se observa que los objetivos están expresados en forma despareja en las unidades curriculares, en algunos casos pobremente establecidos. Además de tener consecuencias en el dictado de cursos el problema se refleja en evaluaciones, y, en definitiva, en aprendizajes. Si los objetivos están pobremente establecidos se corre el riesgo de que las calificaciones se establezcan fundamentalmente “por normas” (no “por criterios”), es decir, implícitamente se determina un porcentaje “razonable” de aprobados. Cualquier desviación en una evaluación, ya sea por aumentar mucho el porcentaje de aprobados o reprobados tiende a ser “corregido”, lo que entre otras cosas, diluye cualquier innovación educativa por el procedimiento de subir la vara de exigencias. En el segundo trabajo se muestra un problema que ocurre en el mundo en Mecánica Newtoniana y que podría ser extrapolado a otras unidades curriculares de facultad: los estudiantes aprenden a resolver un conjunto de problemas estereotipados, el parcial o examen para ellos consiste en ubicar en qué grupo se encuentra el problema, en desmedro de la comprensión conceptual de contenidos de la unidad curricular.
2. A nivel de carrera, en el trabajo se establece una definición de “currículo” como todo lo que tiene que ver en una carrera, desde las normas establecidas a nivel central (Ordenanza de grado) a lo que pasa dentro de las distintas unidades curriculares. Al estar pobremente definidos los objetivos de las unidades curriculares, es una pregunta lógica si se cumplen las especificaciones de las ordenanzas y reglamentos o si se alcanzan los objetivos establecidos en particular en los planes de estudios. En el trabajo se argumenta, basado en la HDM y en la evidencia internacional, que habría deficiencias en el cubrimiento de objetivos de planes de estudios, por ejemplo, los referidos a la fuerte formación analítica y la buena capacidad de síntesis.

En lo relativo al camino para atacar este problema se plantea:

1. A nivel de unidad curricular, revisar el tema de objetivos de aprendizaje. Se sugiere utilizar una taxonomía de objetivos de aprendizaje, que es un marco para clasificar objetivos según su nivel de profundidad, típicamente esos niveles podrían ser por ejemplo a) recordar hechos o principios; b) comprender; c) analizar; d) generalizar. Debería prestarse atención a

ciertos problemas específicos a cada asignatura. Por ejemplo, en el segundo documento se analiza en Mecánica Newtoniana el tema de la comprensión conceptual y el de resolución de problemas. En ese segundo documento se resume la forma en que en el marco de Mecánica Newtoniana se bajó una taxonomía del nivel de la psicología educativa (al que pertenece la taxonomía) a la aplicación a una unidad concreta. En este rubro, como guía, se sugiere fuertemente mirar el artículo de Teodorescu et al.<sup>1</sup> mencionado en el segundo documento. Lamentablemente no se consiguió acceder al programa de la unidad curricular que se menciona en el artículo. Una idea de la forma que podían tener los objetivos en un programa está en el ejemplo de termodinámica del anexo.

2. Al haber deficiencias en los programas de las unidades curriculares, una pregunta natural es cómo se refleja eso en el conjunto, es decir, cómo se consigue una coherencia entre objetivos entre las distintas unidades curriculares como para conseguir cumplir los objetivos de los planes de estudios. Se encontró que varias facultades de ingeniería estaban trabajando en el llamado enfoque CDIO, consiste en tratar de conseguir un currículo integrado. En el documento se resume brevemente en qué consiste el enfoque CDIO: primero se establece un sílabo, es decir, se hace un listado de posibles metas de formación de grado de ingenieros. Por ejemplo, y tomando un ítem al azar, un elemento del sílabo podría ser “Estimar y analizar problemas de forma cualitativa”. A continuación en cada carrera se determinarían los niveles de competencia a alcanzar en cada elemento del sílabo, por ejemplo, si solamente debe poder participar, o entender, o implementar, o liderar en cada ítem. Luego habría que traducir ese nivel de competencia en un ítem de la taxonomía elegida. Finalmente, se determina en qué unidades curriculares se alcanzan qué competencias se alcanzan de los elementos del sílabo.

De esas dos propuestas la que se juzga más importante es la primera: que en cada unidad curricular se haga una reflexión sobre los objetivos de aprendizaje, a través de una guía que debería ser elaborada con intervención de las carreras. Sin estar atada a la propuesta anterior, se propone en también que la Facultad elabore currículos integrados. Los mismos deberían ser dirigidas por las comisiones de carrera, y discutirse con las elaboradas por las unidades curriculares.

Una pregunta que se menciona en el trabajo es el de la coordinación entre matemática y Mecánica Newtoniana. La respuesta dada es muy subjetiva y superficial, quizá sería bueno examinarla más profundamente. Eso puede ser generalizable a otras situaciones, el suscrito recuerda cuando hizo la carrera por ejemplo la pobre coordinación que había entre los conceptos de estadística en algunas asignaturas técnicas con los de matemática.

Dentro de esta discusión general, se muestran un par de elementos de contexto que sería bueno no perder de vista cuando se hace el trabajo. Una se refiere a actitudes y creencias sobre enseñanza y aprendizaje tanto de docentes como de estudiantes. Este punto se mira en el segundo de los documentos, muy vinculado a Mecánica Newtoniana, aunque pienso que todo es generalizable. Otro elemento de contexto que se presenta en el primer documento es un esbozo de la historia de la ingeniería.

---

1 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>

Otro punto que se mencionan en el segundo documento es el de unidades curriculares críticas (cuellos de botella). Se estima que falta una definición de dicho concepto, y también que para esos problemas correspondería tomar acciones diferentes dependientes de la unidad curricular.

## ANEXO

### EJEMPLOS DE OBJETIVOS EN TERMODINÁMICA.

Tomado de P. Wankat y F. S. Oreovicz, "Teaching Engineering", McGraw-Hill, New York, 1993. Disponible en [https://engineering.purdue.edu/ChE/aboutus/publications/teaching\\_eng/Book.pdf](https://engineering.purdue.edu/ChE/aboutus/publications/teaching_eng/Book.pdf)

1. El estudiante puede escribir la primera y segunda ley.
2. El estudiante puede describir la primera y segunda ley con su propio lenguaje. (Es decir, describir estas leyes a una persona leiga).
3. El estudiante puede resolver problemas simples de una sola respuesta usando la primera ley.
4. El estudiante puede resolver problemas que requieren tanto la primera como la segunda ley, ya sea de forma secuencial o simultánea.
5. Dadas las características de un compresor estándar, el estudiante puede desarrollar esquemas para comprimir una gran cantidad de gas a una alta presión donde tanto la cantidad de gas como el incremento de presión requerido son mayores que los que un solo compresor puede manejar.
6. El estudiante puede usar la segunda ley para determinar falacias en ciclos de potencia. El estudiante puede describir las falacias clara y lógicamente tanto en escritos como en debate oral.
7. El estudiante entiende los límites de su conocimiento y sabe cuando la termodinámica clásica no es la herramienta de análisis adecuada.
8. El estudiante puede evaluar sus propias soluciones y las de los demás para encontrar y corregir errores.
9. El estudiante puede buscar en las bases de datos apropiadas y en la literatura para encontrar los datos termodinámicos requeridos, y si los datos no están disponibles el estudiante puede seleccionar los procedimientos apropiados y predecir los valores de los datos.
10. Dado que uno de los objetivos de este curso es ayudar a los estudiantes a tener una amplia educación, el estudiante puede apreciar la belleza de la termodinámica clásica y puede esbozar brevemente la historia del campo.

# Objetivos de aprendizaje y currículo integrado

## 1 Introducción

El presente documento pretende examinar lo que a juicio del suscrito son dos problemas relacionados, uno a nivel de unidades curriculares, otro a nivel de carreras.

### 1.1 A nivel de unidad curricular

Tradicionalmente, los programas cada unidad curricular constaban de un listado de temas a ser considerado seguido de una bibliografía. Esta última daba a los docentes una idea del nivel en que se debían tratar los diferentes contenidos. Es en oportunidad del plan '97 que se estableció que los programas debían contener obligatoriamente, entre otros ítems, los objetivos de la unidad curricular. En ese momento no se dieron mayores indicaciones sobre cómo se debía completar este ítem, más allá de que había que ponerse del punto de vista del estudiante: se debían enumerar habilidades que el estudiante debía obtener en el curso. Esta falta de directivas precisas sobre cómo describir ese ítem hizo que en su compleción hubiera una gran dispersión en lo presentado por las diferentes unidades curriculares, como lo muestra un análisis de la página "Programas de asignaturas de Facultad"<sup>1</sup>. De hecho, al lado de buenas descripciones, se observan otras que dejan dudas, hasta porque en algunos casos los objetivos se expresan desde el punto de vista de lo que se enseña, pero en realidad, no importa tanto lo que hace el profesor sino que a lo que hay que prestar atención es a lo que el estudiante efectivamente obtiene.

Es opinión del suscrito que el ítem objetivos no ocupó ni ocupa mayor relevancia frente a los tradicionales de temario y bibliografía: si se les pidiera a los docentes que reprodujeran de memoria el programa de la asignatura que están dictando, seguramente lo harían bien en los ítems de temario y bibliografía, pero a juicio del suscrito, una gran mayoría de docentes tendría dificultades en lo que respecta a los objetivos. Esto se daría particularmente en los años iniciales en que las unidades curriculares están a cargo de grupos de docentes que generalmente centran su atención en el temario que debe impartirse, bajo las directivas del responsable y coordinador, y no tanto en los objetivos del programa. A juicio del suscrito, la falta de claridad en los objetivos de muchas de las unidades curriculares tiene consecuencias importantes que son desarrolladas en la Subsección 2.1 de este documento.

### 1.2 A nivel de carrera

A los efectos de este documento, se utilizará una definición de currículo como la dada por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia<sup>2</sup>, que establece que es

1 Disponible a diciembre 2019 en <https://www.fing.edu.uy/node/31286/programas-de-asignaturas>.

2 Artículo 76 de la ley 115 del 8/2/94 del Congreso de la República de Colombia. Disponible a enero 2020 en <https://www.google.com.uy/search?source=hp&ei=UG8TXpqEMarB5OUPxLG1-Ao&q=Ley+115.+Santaf%C3%A9+de+Bogot%C3%A1+Congreso+de+la+Rep%C3%BAblica+de+Colombia.&oq=Ley+115.+Santaf>



“el conjunto de criterios, planes de estudio, programas, metodologías, y procesos que contribuyen a la formación integral y a la construcción de la identidad cultural nacional, regional y local, incluyendo también los recursos humanos, académicos y físicos para poner en práctica las políticas y llevar a cabo el proyecto educativo institucional.”

En esta definición se observa que se incluyen muchas componentes interactuantes, con lo que su coordinación resulta compleja.

Un párrafo de objetivos generales que aparece en los planes de estudios (uno de los elementos del currículo) de las carreras de ingeniería de la Facultad establece que:

“El objetivo fundamental del presente Plan de Estudios es la formación de ingenieros dotados de preparación suficiente para insertarse en el medio profesional y capacitados para seguir aprendiendo, acompañando la evolución científica, tecnológica y social, y perfeccionándose para abordar actividades más especializadas y complejas. Ello implica apuntar a preparar ingenieros con una fuerte formación básica y básico-tecnológica. Por lo tanto se hace énfasis en una sólida formación analítica, que permita una comprensión profunda de los objetos de trabajo. También es necesario desarrollar la metodología para realizar medidas y diagnósticos en forma rigurosa, así como la capacidad de formulación de modelos, que permitan interpretar la realidad para actuar sobre ella. Lo anteriormente descrito unido a una buena capacidad de síntesis, buscarán crear en el egresado una actitud creadora e innovadora. Se considera parte de la formación profesional la comprensión de la función social de la profesión y la ética en el uso de los conocimientos y de los recursos naturales, incluyendo el trabajo.”

La pregunta es ¿de qué manera la Facultad se asegura que se cumplen estos objetivos, o los varios otros establecidos en otras secciones de los planes de estudios como las que se desprenden del “perfil del egresado”, o los adjudicados a las áreas de formación? Las unidades curriculares suelen enfocarse en transmitir su temario. En la Subsección 2.2 se argumenta una cierta falta de alineación entre los objetivos expresados en el plan de estudios y los objetivos de las unidades curriculares.

### 1.3 Organización del documento

Como ya se expresó en 1.1 y en 1.2, en la Sección 2 se plantean ambos problemas, el dado a nivel de unidad curricular, y el presentado a nivel de carrera. En la Sección 3 se describe una posible respuesta a las dificultades a nivel de unidad curricular usando como herramienta una taxonomía de objetivos de aprendizaje (una clasificación de objetivos de acuerdo a niveles de dificultad). Lo que se propone, como primer paso para atacar el problema, es revisar los objetivos de los programas, con una mirada puesta en los planes de estudios y en el marco de una taxonomía de objetivos de aprendizaje, taxonomía que en cada unidad curricular en principio podría ser elegida de entre las varias que existen. Los objetivos de aprendizaje no son solamente los correspondientes al temario de la unidad curricular<sup>3</sup>, sino también otros aspectos mencionados en los planes de

---

[%C3%A9+de+Bogot%C3%A1%3A+Congreso+de+la+Rep%C3%BAblica+de+Colombia.&gs\\_l=psy-ab.12](#)

3 En el presente documento no se hace énfasis en los temarios de las unidades curriculares porque se estima que no está allí el problema, pero sí tanto a otros aspectos del plan de estudios, como también al nivel cognitivo que cada

estudios, y a los cuales diferentes unidades curriculares deben contribuir en la medida en que les corresponda.

En la Sección 4 se plantea una posible respuesta al problema de la alineación de los elementos que componen el currículo, y es la creación de un currículo integrado. En esa sección se describe resumidamente una forma de construirlo mediante el enfoque CDIO (sigla por Concepción, Diseño, Implementación, Operación), que es una hoja de ruta para llegar al objetivo. En la Sección 4 se resume una primera etapa del enfoque CDIO, y se esbozan elementos para completarla. Ese currículo integrado, al buscar una mirada global, incorpora en una de sus etapas la elaboración de objetivos en los programas de la Sección 3 ya mencionada. Finalmente, en la Sección 5 se hacen dos sugerencias, una relativa a unidades curriculares, la segunda, relativa a las carreras.

Los ejemplos que se vierten en este documento, por los antecedentes del suscrito, están muy dirigidos a la matemática, pero, mutatis mutandis, lo que ejemplifican se extienden a otras unidades curriculares de la Facultad. Los conceptos expuestos en este documento son responsabilidad del suscrito, y no son implican a ninguna institución u orden.

## **2 Planteo del problema**

### **2.1 A nivel de unidad curricular**

En el examen de cálculo 1 de febrero de 2017, en algún ejercicio se les pedía a los estudiantes razonar sobre la demostración de un teorema considerado durante el curso, pero en el que en la hipótesis se habían introducido algunas variantes. Dejando de lado la cuestión de si en el curso se le suministró a los estudiantes las herramientas necesarias para esa tarea y a qué nivel se hizo, cabe la pregunta de si la mencionada tarea es o no es un objetivo del curso de cálculo 1. En lo más cerca que está el programa de cálculo 1 de esta cuestión en sus objetivos, es donde afirma que “el estudiante debe adquirir cierta solvencia en el razonamiento lógico y abstracto. Esto incluye [...] la capacidad de elaboración razonamientos por su propia cuenta, tanto para la resolución de problemas prácticos como para el acercamiento a un nuevo concepto.” Es al menos discutible si la “cierta solvencia en el razonamiento [...] para el acercamiento a un nuevo concepto” incluye la capacidad de análisis de una demostración al nivel solicitado en ese examen.

Viendo el mismo problema pero desde otra óptica: en la literatura se distinguen dos grandes métodos de calificación del trabajo estudiantil: la calificación referida por normas y la referida por criterios:

- Calificación por normas: en este caso, se determina a priori una distribución de resultados de los estudiantes, y la calificación se ajusta de acuerdo a ese criterio. Por ejemplo, se podría determinar que el 10% de los estudiantes con mejor resultado obtenga una A, el 30% siguiente una B, y así sucesivamente. La calificación de cada estudiante depende, entonces, del desempeño del grupo. Este método aparece por ejemplo en pruebas de admisión o coeficientes de inteligencia.

---

uno de los elementos del plan de estudios (temario incluido) debe alcanzar.

- Calificación por criterios: se trata de determinar en qué medida el estudiante logra resultados de aprendizaje especificados previamente.

En principio, lo usual en las instituciones de enseñanza es que, como primera respuesta, manifiesten que usan una calificación referida por criterios. No obstante, la diferencia es más bien teórica, los criterios se fijan usualmente con una mirada sobre lo que los estudiantes efectivamente consiguen realizar. Según Lok et al.<sup>4</sup>,

“Está claro que ninguno de los dos enfoques, en su forma pura, es apropiado en escenarios extremos. La mayoría de los profesores, *si se les presiona*, confesaría que se trata de un híbrido pragmático, esperando algún nivel de rendimiento absoluto y respetando al mismo tiempo la convención sobre la distribución de calificaciones. Este enfoque está siendo sometido a una presión cada vez mayor por diversas razones. [...] Por estos motivos, se ha debatido continuamente sobre la evaluación basada en criterios y normas, hasta el punto de que a menudo se consideran opciones mutuamente excluyentes en una elección binaria.”

En ese artículo de Lok<sup>4</sup> se argumenta contra una falsa dicotomía, y que ambas opciones deben coexistir en un balance inteligente.

La falta de claridad en el ítem objetivos de las unidades curriculares en los programas de Facultad hace que una evaluación basada en criterios sea cuando menos difusa en lo que respecta a requerimientos exigidos a los estudiantes, obteniendo un gran peso la calificación referida a normas. No son raras las oportunidades en que se fijan criterios en pruebas en función del número de estudiantes que contestan acertada o equivocadamente a la preguntas. El suscrito opina que si en algún momento, por ejemplo por alguna innovación educativa, en una unidad curricular se alcanzaran niveles de conocimiento más profundo que antes de la innovación, entraría en acción una aspiración de discriminar los desempeños de los estudiantes, lo que haría que en el mediano plazo los porcentajes de aprobación volverían a ser similares a los originales, debido esto a la poca claridad de los objetivos de aprendizaje<sup>5</sup>.

Es usual, en pruebas de matemática, solicitar al estudiante la demostración de un determinado teorema. La definición de la RAE afirma que demostrar es “hacer ver que una verdad particular está comprendida dentro de otra de la que se tiene certeza”. Esta definición no es de gran ayuda a comprender qué dominio de un teorema se debe tener: el “hacer ver” puede ser hecho por ejemplo recordando y transcribiendo una demostración. Pero también puede lograrse entendiéndola y explicándola con sus propias palabras. El estudiante, incluso, podría alcanzar un nivel más profundo, comprendiendo qué importancia tiene cada una de los elementos que componen la hipótesis del teorema y siendo capaz, si se hace una variación en las hipótesis, a) de dar un contraejemplo si el nuevo enunciado es falso, o b) de modificar la demostración en lo que corresponda para llegar a la tesis. Finalmente, podría llegarse a un nivel de creación (no necesariamente original, pero sí llegando a una demostración no vista en el curso ni conocida de

4 Lok, B., McNaught, C., y Young, K. (2016). Criterion-referenced and norm-referenced assessments: Compatibility and complementarity. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 41(3), 450-465. Disponible en Timbó a diciembre 2019

5 Esto no es absoluto, se pueden mencionar excepciones, por ejemplo si coexisten modalidades de enseñanza tradicionales con innovadoras, o en el caso de utilizar los tests Concept Inventory, que son pruebas referenciadas por criterios bien conocidas por los físicos.

antemano por el estudiante) sintetizando diferentes elementos del curso o de cursos anteriores. En principio, cualquiera de los cuatro pueden ser objetivos válidos en un curso. Un ejemplo para ser más claro: no es lo mismo repetir una demostración de la irracionalidad de  $\sqrt{2}$  (sin comprenderla), que entender esa misma demostración y explicarla con palabras propias. No es lo mismo, tampoco, como tercera opción, que después de haber entendido la mencionada demostración, se aplique para demostrar la irracionalidad de  $\sqrt{3}$ , que si bien no conlleva aparentemente una mayor complejidad que la de comprender, sí representa un salto cognitivo. Una cuarta opción, creciente en nivel de complejidad, es probar la irracionalidad de  $\sqrt{12}$ , allí el estudiante debe sintetizar la demostración conocida de la irracionalidad de  $\sqrt{2}$  con conceptos de descomposición factorial de naturales. Finalmente, una quinta opción podría ser pedir conjeturar y probar un teorema que dé una condición necesaria y suficiente para que la raíz cuadrada de un natural sea irracional. Son niveles diferentes de conocimiento, algunos puede que sean razonables exigir, otros no, la respuesta a ello depende del desarrollo cognitivo que posea el estudiante.

## 2.2 A nivel de carrera

En los planes de estudios de las carreras de grado de ingeniería, entre otros objetivos generales, se menciona que se debe lograr una fuerte formación analítica y buena capacidad de síntesis. Cabe preguntarse cómo se logran esas formaciones. La capacidad de síntesis aparece explícitamente en, por ejemplo, el proyecto de fin de carrera. Pero parece razonable que esas formaciones (y por supuesto, asociada a contenidos, no es posible aprehenderlas en abstracto), aparezcan en forma progresiva durante todo el desarrollo de la carrera, para lo que es de recibo preguntarse si ese objetivo fue tenido en cuenta al elaborarse los distintos programas de las unidades curriculares.

Primero que nada, ¿cuál es el punto de partida estudiantil al ingreso? El punto queda evidenciado en los cursos iniciales de matemática de facultad, en que revelan que muchos estudiantes están lejos de una capacidad medianamente fluida de hacer análisis o síntesis, y básicamente no pasan de capacidad de entender. El problema discutido arriba sobre la irracionalidad de la raíz de un entero no es teórico: en cierto año, se hizo la demostración de la irracionalidad de  $\sqrt{2}$  en el teórico de Cálculo 1, y se pidió demostrar la irracionalidad de  $\sqrt{3}$  en el práctico. Fueron muchos los estudiantes que se detuvieron en la palabra “demostrar”, y una vez superada esa parálisis, no supieron continuar con el resto del ejercicio. Esto no es un problema que se reduce al Uruguay: en Crawford et al.<sup>6</sup> se hizo una encuesta a 300 estudiantes ingresantes a la universidad en Australia, previo al inicio de cursos de matemática que revela que “Una gran proporción de la muestra de egresados de enseñanza media estudiados conciben la matemática como números, reglas y fórmulas que se pueden aplicar para resolver problemas. En nuestra muestra, estas visiones de la matemática se asocian con enfoques superficiales del estudio de la matemática.” El tema está más desarrollado en el documento del Claustro “El problema de la matemática”<sup>7</sup>,

6 Crawford, K., Gordon, L. S., Nicholas, J., Y Prosser, M., 1993, Learning mathematics at university level: initial conceptions of mathematics, in Atweh, W.; Kanen, C., Carss, M., and Booker, G. (ed) Contexts in Mathematics Education: Proceedings of the Sixteenth Annual Conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia (MERGA), Brisbane. Disponible a enero 2020 en [https://www2.merga.net.au/documents/RP\\_Crawford\\_Gordon\\_Nicholas\\_Prosser\\_1993.pdf](https://www2.merga.net.au/documents/RP_Crawford_Gordon_Nicholas_Prosser_1993.pdf)

7 Disponible a enero 2020 en [https://www.fing.edu.uy/documentos\\_digitales/download/4?query=actividades+de+ense%C3%B1anza&dir=documentos\\_digitales%2F1+a\\_cogobierno%2F2\\_claustro&after=&before=&sort=mtime&ascending=0&page=1](https://www.fing.edu.uy/documentos_digitales/download/4?query=actividades+de+ense%C3%B1anza&dir=documentos_digitales%2F1+a_cogobierno%2F2_claustro&after=&before=&sort=mtime&ascending=0&page=1)

¿Cuál es la situación avanzada la carrera? En los años 2008 y 2009 se llevó adelante la llamada “Herramienta diagnóstica media”<sup>8</sup> (HDM), dirigida a estudiantes que habían completado entre 150 y 200 créditos de la carrera. Como resumen del resultado de esas pruebas, se transcriben los siguientes párrafos de la HDM 2009 (resultados similares hay en la HDM 2008):

“En la HDM 2009 se obtuvo un 32,5% de suficiencia<sup>9</sup> global. Este resultado es más bajo que el obtenido en el año 2008 aunque no se puede asegurar la equivalencia de las pruebas ya que se realizaron modificaciones en la prueba principalmente en las competencias específicas de cada carrera.

La carrera que obtuvo mayor porcentaje de suficiencia global fue Eléctrica con un 69%; en las otras carreras se obtuvo entre el 21 y el 25% de suficiencia global salvo para Agrimensura en la cual ningún estudiante logró la suficiencia.

Si se analizan las componentes por separado, para las **competencias generales** comunes a todas las carreras se obtuvo un 27% de suficiencia, siendo también la carrera de Eléctrica la que obtuvo el mayor porcentaje (58%). Ingeniería en computación obtuvo el 11% de suficiencia en esta componente y para Agrimensura ningún estudiante logró la suficiencia en esta componente.

En la **componente específica** para cada carrera, Eléctrica obtuvo un 76% de suficiencia, Computación 61%, Química y Alimentos 52%, Civil 38%, Mecánica 37% y en Agrimensura 2 de los 4 estudiantes que se presentaron lograron la suficiencia en esta componente. Estos resultados no son comparables entre sí por tratarse de pruebas diferentes, con índices estadísticos que difieren de una propuesta a otra.”

Esas cifras, referidas a estudiantes que ya consiguieron un cierto avance en su carrera, apuntan a mostrar que hay un conjunto no menor de ellos cuyos conocimientos y habilidades no son lo suficientemente satisfactorias. Del análisis del informe no es fácil entender dónde están los problemas: hay conceptos referidos a preguntas específicas pero no muchas miradas globales. De todas formas, de la HDM 2008 se transcriben, en este sentido, algunas expresiones de Iván López referidas a los estudiantes de ingeniería química:

“Como una hipótesis muy preliminar podría plantearse que los problemas más grandes se dan no en los conocimientos adquiridos sino en la capacidad para la abstracción, la formulación de modelos y su aplicación a situaciones prácticas. A modo de ejemplo la pregunta 25 (balance de masa de dos corrientes en un punto) preguntada explícitamente es contestada en forma ampliamente correcta. Sin embargo es una constatación reiterada que planteada esa situación en el marco de un problema genera muchas dificultades. En el mismo sentido las preguntas ‘matemáticas’ deben tener un doble problema: requerir mayor abstracción y no establecer un contacto directo con ejemplos reales. Las situaciones de manejo ‘práctico’ no son del todo bien resueltas, por ejemplo, en la pregunta de la absorción, se requería tener un conocimiento elemental de cuales eran ácidos y

8 Disponibles a diciembre 2019 en <https://www.fing.edu.uy/~enrich/evaluacion/HDM2008.doc> y en <https://www.fing.edu.uy/~enrich/evaluacion/HDM2009.doc>

9 Por “suficiencia” debe entenderse haber obtenido 60% o más de los puntos posibles.

bases y si eran volátiles (el amoníaco), detalles que no eran preguntados explícitamente pero que se requerían para resolver la situación. También en la pregunta de las incertidumbres se nota falta de resolución práctica (haber tenido que ‘utilizar’ una incertidumbre).”

Se resalta que, entre las observaciones anteriores se expresan dudas sobre cómo se estaban alcanzando algunos objetivos, por ejemplo se menciona “la formulación de modelos y su aplicación a situaciones prácticas.” El plan de estudios establece entre los objetivos generales que los egresados deben tener “capacidad de formulación de modelos, que permitan interpretar la realidad para actuar sobre ella”. También se mencionan dudas sobre la capacidad de abstracción, que es uno de los objetivos normalmente adjudicados a la área de formación matemática.

En otro pasaje del mismo documento se lee:

“En lo que refiere a estrategias de aprendizaje, podemos destacar que, aún a esta altura de la carrera, un 16% de los estudiantes manifiesta estudiar memorizando todos los temas y un 42% lo hace particularmente frente a aquellos temas que les resultan de difícil comprensión. Si consideramos además que 23% 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.

Aún una cantidad importante de estudiantes (39%) 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’.”

Problemas como el anterior se encuentran no solamente en Uruguay: en Anderson et al.<sup>10</sup> se hizo un estudio sobre las respuestas dadas por estudiantes de grado de tercer año de 15 instituciones universitarias diferentes a preguntas simples de matemática de nivel correspondiente a primer año. Se encontró que “las ideas erróneas encontradas indican que los cimientos establecidos en el primer año, sobre los que se construyen sus conocimientos posteriores, son a menudo muy endeble. Los datos recogidos incluyen información sobre la concesión del título final de la mayor parte del grupo de prueba. Se ha comprobado que incluso entre los estudiantes que posteriormente obtuvieron buenos títulos, la retención del material de primer año es demostrablemente débil y sugiere algún motivo de preocupación entre los que los enseñan.”

Como reflexión final referida a las HDM, se señala que en el informe HDM 2008 se discute los resultados de una pregunta de física sobre acción y reacción que había sido propuesta en la Herramienta Diagnóstica al Ingreso (HDI). Después de un curso de física general, 1 y para varios estudiantes, después de un curso de mecánica newtoniana, no pocos estudiantes continuaban contestando erróneamente la pregunta, e incluso varios, habiéndola contestado bien en la HDI,

---

10 Anderson J., Austin, J. Barnard, T. y Jagger, J. (1998) Do third-year mathematics undergraduates know what they are supposed to know?, *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 29:3, 401-420

cambiaban su respuesta por una errónea en la HDM. Esta situación es bien conocida en la literatura internacional, es muy común en artículos que se refieren a metodologías de aprendizaje activo en cursos de física, que uno de los problemas a atacar es que muchos estudiantes, luego de cursos enseñados con metodologías tradicionales, si bien consiguen resolver problemas de mecánica de cierta complejidad igualmente siguen teniendo una “concepción aristotélica” respecto a ciertas cuestiones de física. El problema no se reduce a la física. En el capítulo 3 “What students learn” del libro de Ramsden<sup>11</sup> se encuentran las siguientes expresiones:

“Un cuadro deprimente surge de los estudios sobre la calidad de la comprensión de los estudiantes en las disciplinas académicas y las materias profesionales. Parece que muchos estudiantes no cambian su comprensión de la manera que sus profesores desearían.

Si se compara con la posición epistemológica y educativa adoptada en el capítulo 1 de este libro -que el aprendizaje se refiere fundamentalmente a los cambios en la comprensión de la realidad, y que la enseñanza debe orientarse a ayudar a los estudiantes a comprender los fenómenos de la manera en que lo hacen los expertos-, estas conclusiones representan una seria acusación de la eficacia de la educación superior. Parece que no ha tenido tanto éxito como podría haber tenido en ayudar a los estudiantes a cambiar su comprensión de, por ejemplo, la naturaleza del mundo físico o a captar la naturaleza del proceso científico. Numerosas investigaciones han puesto de manifiesto que:

- Muchos estudiantes logran habilidades rutinarias complejas en ciencias, matemática y humanidades, incluyendo algoritmos de resolución de problemas.
- Muchos se han apropiado de enormes cantidades de conocimiento detallado, incluyendo el conocimiento de la terminología específica de la materia.
- Muchos son capaces de reproducir grandes cantidades de información factual cuando se les pide.
- Muchos son capaces de aprobar exámenes.
- Pero muchos son incapaces de demostrar que entienden lo que han aprendido cuando se les hacen preguntas sencillas pero que ponen a prueba su comprensión del contenido. Siguen profesando ideas erróneas sobre conceptos importantes; sus ideas sobre cómo los expertos proceden e informan sobre su trabajo son a menudo confusas; la aplicación de sus conocimientos a nuevos problemas es a menudo débil; sus habilidades para trabajar conjuntamente para resolver problemas son a menudo inadecuadas. Los cambios conceptuales son ‘relativamente raros, frágiles y dependientes del contexto’ (Dahlgren<sup>12</sup> 1984:33).

11 Ramsden, P. (2003) Learning to Teach in Higher Education. London: Routledge.

12 Dahlgren, L. O. 1984 ‘Outcomes of learning’, disponible a enero 2020 en [http://www.docs.hss.ed.ac.uk/iad/Learning\\_teaching/Academic\\_teaching/Resources/Experience\\_of\\_learning/EoLChapter2.pdf](http://www.docs.hss.ed.ac.uk/iad/Learning_teaching/Academic_teaching/Resources/Experience_of_learning/EoLChapter2.pdf). En el capítulo 2 de Marton, F., Hounsell, D. y Entwistle, N. (eds) The Experience of Learning, Edinburgh: Scottish Academic Press, disponible a enero 2020 en <https://www.ed.ac.uk/institute-academic-development/learning-teaching/research/experience-of-learning>

En resumen, la investigación indica que, al menos durante un corto período, los estudiantes retienen grandes cantidades de información. Por otra parte, muchos de ellos parecen olvidar pronto gran parte de ella (véase, por ejemplo, Saunders<sup>13</sup> 1980), y parecen no hacer buen uso de lo que recuerdan. Experimentan muchos cambios superficiales -adquiriendo la jerga de las disciplinas, por ejemplo- pero tienden a operar con concepciones ingenuas y erróneas. Además, muchos estudiantes no saben lo que no saben: no han desarrollado una conciencia autocrítica en sus asignaturas.”

Es claro, a juicio del suscrito, que como estudiante es más fácil avanzar en la carrera aplicando, donde sea pertinente, herramientas de nivel cognitivo superior que usando exclusivamente la memoria de corto plazo. Pero la evidencia indica que, si bien hay un conjunto grande de estudiantes que efectivamente consiguen desarrollar esas herramientas cognitivas de nivel superior, hay otro conjunto también grande de estudiantes que consiguen avanzar en la carrera sin desarrollarlas, a pesar de lo establecido en los planes de estudios. Las metodologías expositivas en los cursos predominantes en facultad y de resolución de problemas en el pizarrón estimulan el uso de herramientas cognitivas de nivel inferior. Las evaluaciones son usualmente sobre aspectos que implican recordar y comprender, pero no analizar o sintetizar. Este problema está siendo cada vez más comprendido, los cursos de Matemática Inicial y Cálculos Diferencial e Integral son ejemplos, pero de todas formas, es de preguntarse cómo se alinean los cursos de Facultad con los objetivos del plan de estudios (y no solamente pensando en contenidos temáticos). Otra vez, ese problema no es exclusivamente uruguayo, en Barrie<sup>14</sup>, se lee:

“Durante muchos años, las universidades de todo el mundo han tratado de articular la naturaleza de la educación que ofrecen a sus estudiantes a través de una descripción de las cualidades y habilidades genéricas que poseen sus graduados. [...] Es evidente que los profesores universitarios australianos encargados de la responsabilidad de desarrollar los atributos genéricos de los estudiantes no comparten una comprensión común ni de la naturaleza de estos resultados, ni de los procesos de enseñanza y aprendizaje que podrían facilitar el desarrollo de estos resultados. En cambio, los académicos tienen concepciones cualitativamente diferentes del fenómeno de los atributos de los estudiantes.”

El tema de poseer capacidad de análisis o síntesis no es un tema on-off, es decir, no es algo que se tiene o que no se tiene, sino que se posee en diversos grados. Pero al estar planteado en los planes de estudios, parece necesario que la Facultad preste atención a cómo los estudiantes logran esos objetivos, así como los otros puntos estipulados en los planes de estudios de Ingeniería.

---

13 Saunders, P. (1980) ‘The lasting effects of introductory economics courses’, *Journal of Economic Education* 12:1–14. Disponible a diciembre 2019 en Timbó.

14 Barrie, S. C. (2004). A research-based approach to generic graduate attributes policy. *Higher Education Research & Development*, 23(3), 261–275. Disponible a enero 2020 en [https://www.researchgate.net/profile/Simon\\_Barrie/publication/228988722\\_A\\_research-based\\_approach\\_to\\_generic\\_graduate\\_attributes\\_policy/links/0a85e5317aa7e2f7d2000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Simon_Barrie/publication/228988722_A_research-based_approach_to_generic_graduate_attributes_policy/links/0a85e5317aa7e2f7d2000000.pdf)



### 2.3 Antecedentes inmediatos

Hace unos meses, una subcomisión de la Comisión de Políticas de Enseñanza (CoPE) puso sobre la mesa el problema de si los conocimientos que adquiere un estudiante al aprobar una unidad curricular son suficientes para poder seguir cursos de los cuales la unidad curricular es previa. Yendo a un ejemplo extremo, es posible cursar Cálculo 2 sin tener ningún conocimiento en absoluto de conceptos de cálculo integral de Cálculo 1. Más allá que eso es teóricamente posible (se podría desarrollar el cálculo integral en varias variables e introducir cálculo en una variable como caso particular), el enfoque que se le da en los cursos de ingeniería hace que eso no sea recomendable en absoluto. La subcomisión planteó que en cada unidad curricular se especificaran explícitamente temario y nivel necesario para continuar cursos de los que son previas, y para ello puso sobre la mesa las taxonomías de Bloom, y la de Bloom revisada. Pero no parece razonable aplicar una taxonomía a una parte del programa (la necesaria para obtener la aprobación) y no a todo el programa. Por otra parte, un par de borradores que llegaron a la CoPE mostraban que se mantenía una dispersión entre ellos y dudas sobre su alineación con el plan de estudios. Por lo pronto, parece necesario hacer una guía para ponerse de acuerdo en el alcance de los verbos que se usaban en cuanto a los requisitos que debía obtener el estudiante. Este punto, relacionado con el tema taxonomías de objetivos de aprendizaje es el objeto de la sección 3.

## 3 Taxonomías de objetivos de aprendizaje

Una taxonomía de objetivos de aprendizaje es un marco que sirve para clasificar los mencionados objetivos según niveles de profundidad. Se han desarrollado muchas<sup>15</sup>, las dos más conocidas y utilizadas son la Bloom y la de Bloom revisada por Anderson y Krathwohl. Entre varias otras, también se mencionan la SOLO<sup>16</sup> (sigla de Structure of Observed Learning Outcome) de Biggs, la del aprendizaje significativo de Fink<sup>17</sup>, la taxonomía de los objetivos educativos de Marzano y Kendall<sup>18</sup> (esta última también se basa en la de Bloom).

¿Por qué una taxonomía? En el capítulo 1 de Anderson et al.<sup>26</sup> se esgrimen las siguientes preguntas que una taxonomía ayuda a contestar:

“Tradicionalmente, los maestros han luchado con asuntos y preocupaciones relacionados con la educación, la enseñanza y el aprendizaje. Aquí están cuatro de las preguntas organizativas más importantes:

- ¿Qué es importante que los estudiantes aprendan en el limitado tiempo disponible? (la cuestión del aprendizaje)

15 Ver por ejemplo, Moseley, D., Elliott, J., Gregson, M. y Higgins, S. (2005) Thinking skills frameworks for use in education and training, British Educational Research Journal, 31(3): 367–90. Disponible a diciembre 2019 en <http://www.academia.edu/download/7962764/Moseleyetal05.pdf>

16 Biggs, J. B. y Collis, K. F. (1982). Evaluating the Quality of Learning: The SOLO Taxonomy, Structure of the Observed Learning Outcome. (London: Academic Press) Ver también Biggs, J. B. y Tang, C. (2011) Teaching for Quality Learning at University What the Student Does 4th edition The Society for Research into Higher Education and Open University Press.

17 Fink, L.D., (2002) Creating Significant Learning Experiences: An Integrated Approach to Designing College Courses, San Francisco, Cal.: Jossey-Bass,.

18 Marzano, R y Kendall, J. (2007) The new taxonomy of educational objectives, 2nd. Edition Corwin Press, Thousand Oaks, CA.

- ¿Cómo se planifica y se imparte la instrucción que resultará en altos niveles de aprendizaje para un gran número de estudiantes? (la cuestión de la instrucción)
- ¿Cómo se seleccionan o diseñan los instrumentos y procedimientos de evaluación que proporcionan información precisa sobre el nivel de aprendizaje de los estudiantes? (la cuestión de la evaluación)
- ¿Cómo se asegura uno de que los objetivos, la instrucción y la evaluación sean coherentes entre sí? (la cuestión de la alineación)”

La bibliografía sobre cómo servirse de una taxonomía para redactar resultados de aprendizaje de un curso es amplia, en particular si se trata de la taxonomía de Bloom. Como ejemplos se señala las páginas del Mohawk College<sup>19</sup> y de la Universidad de Arkansas<sup>20</sup>.

### 3.1 Taxonomía de Bloom<sup>21</sup>

Es, probablemente, la más antigua, no obstante este hecho y que posteriormente han aparecido varias otras, continúa siendo ampliamente utilizada lo que demuestra su fortaleza. En la taxonomía de Bloom se reconocen tres dimensiones, la cognitiva, la psicomotora y la afectiva. En este documento nos interesa la dimensión cognitiva, en la que hay seis niveles, que en orden ascendente son a) conocimiento, b) comprensión, c) aplicación, d) análisis, f) síntesis y g) evaluación. Están jerárquicamente ordenados, en el sentido que se supone que si alguien alcanza uno de esos niveles, tiene los que lo preceden (esto no implica que para llegar a obtener un nivel cognitivo se deban recorrer en orden los que lo preceden). El suscrito remite a la amplia bibliografía existente por más detalles, de cualquier manera en la primera página del anexo del presente documento se presenta un cuadro<sup>22</sup> donde se puede leer una descripción de las habilidades que constituyen cada nivel y qué tipo de actividades debe poder lograr hacer. Aparece también un listado sugerido de verbos que se pueden usar para describir actividades en cada nivel. En la taxonomía de Bloom se desaconseja el uso de algunos verbos en la descripción de actividades como por ejemplo “comprender” porque es difícilmente cuantificable. De cualquier manera, hay que ser cuidadoso con el uso de los verbos, por ejemplo, “explicar” aparece en la columna correspondiente a comprensión, sin embargo una frase como “explicar la relación entre A y B”, si tal relación fuera un problema abierto, implicaría movilizar niveles cognitivos superiores.

19 Mohawk College “How to Write Course Learning Outcomes” Disponible a enero 2020 en <https://www.mohawkcollege.ca/employees/centre-for-teaching-learning/curriculum-development/how-to-write-course-learning-outcomes>

20 Arkansas University, 2018 Using Bloom’s Taxonomy to Write Effective Learning Objectives, disponible a enero 2020 en <https://tips.uark.edu/using-blooms-taxonomy/>

21 Bloom, B. S., Englehart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). Taxonomy of educational objectives: Handbook I - cognitive domain. New York: McKay. Disponible a diciembre 2019 en <https://www.uky.edu/~rsand1/china2018/texts/Bloom%20et%20al%20-Taxonomy%20of%20Educational%20Objectives.pdf>

22 El cuadro fue tomado de [http://web.uaemex.mx/incorporadas/docs/MATERIAL%20DE%20PLANEACION%20INCORPORADAS/Taxonomia%20de%20Bloom1\(VERBOS\).pdf](http://web.uaemex.mx/incorporadas/docs/MATERIAL%20DE%20PLANEACION%20INCORPORADAS/Taxonomia%20de%20Bloom1(VERBOS).pdf). Se señala que presenta algún error de traducción: en los niveles de síntesis y evaluación de la Taxonomía de Bloom presenta verbos, mientras la versión original presenta sustantivos.

Un documento que explora aspectos de la taxonomía de Bloom para carreras de ingeniería es el trabajo de Kadir<sup>23</sup>. Algunas indicaciones sobre cómo aplicar la taxonomía de Bloom específicamente en la matemática se pueden encontrar en Luengo<sup>24</sup> y en Shorser<sup>25</sup>.

### 3.2 Taxonomía de Bloom revisada (Anderson y Krathwohl)<sup>26</sup>

En contraste con la unidimensionalidad de la taxonomía de Bloom, la de Bloom revisada tiene dos dimensiones: la del proceso cognitivo y la del conocimiento, puede pensarse en una matriz en que hay seis columnas del proceso cognitivo (recordar, comprender, analizar, evaluar y crear) y cuatro filas de la dimensión del conocimiento (factual, conceptual, procedimental y metacognitivo). En el proceso cognitivo, en relación con la taxonomía de Bloom original se han sustituido los sustantivos por verbos, pero lo más relevante es que el nivel evaluar pasa del sexto lugar al quinto, y se sustituye sintetizar por crear, que pasa al nivel más alto. En las páginas 2 y 3 del anexo se presenta un cuadro<sup>22</sup> que da una idea de su funcionamiento.

### 3.3 Otras taxonomías relacionadas con ingeniería

Si bien las taxonomías de Bloom y la revisada de Bloom son las más difundidas, al aplicarse a dominios específicos pueden presentarse algunos inconvenientes que pretenden ser resueltos por otras taxonomías. Una de ellas es la taxonomía de Feisel-Schmitz<sup>27</sup>, que es una taxonomía de conocimiento técnico, y por ello se menciona aquí. Comprende los siguientes niveles, que también presentan un orden jerárquico: defina, calcule, explique, resuelva y juzgue. El suscrito encontró poca información al respecto de esa taxonomía, desconoce si es usada en alguna institución.

En el caso particular de la matemática se ha encontrado dificultades en algunos aspectos al aplicar la taxonomía de Bloom, por lo que se han desarrollado otras taxonomías como la MATH (sigla por Mathematical Assessment Task Hierarchy), para ser aplicada en particular en evaluaciones. Se puede encontrar información sobre la misma en Smith et al.<sup>28</sup> y en Darlington<sup>29</sup>. No es una taxonomía jerárquica como la de Bloom, si bien los niveles aparecen en tres grupos, en

- 23 Kadir, A. Quality Improvement of Examination's Questions of Engineering Education According To Bloom's Taxonomy, The Sixth International Arab Conference on Quality Assurance in Higher Education (IACQA'2016). Disponible a enero 2020 en <https://pdfs.semanticscholar.org/6b9e/f94dd276d3bf63186da8e26d1b6075d52b7b.pdf>
- 24 Luengo, M. 1998 Taxonomía de capacidades aplicadas a las matemáticas Aula abierta, N° 71, 1998, (201-210) Disponible a diciembre 2019 en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/45427.pdf>
- 25 Shorser, L. (1999). Bloom's Taxonomy Interpreted for Mathematics. Disponible a diciembre 2019 en <http://www.math.toronto.edu/writing/BloomsTaxonomy.pdf>
- 26 Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K.A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Rath, J., y Wittrock, M. C. (Eds.) D.R. (2001). A taxonomy for Learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Addison Wesley Longman. New York. Disponible a diciembre 2019 en <https://www.uky.edu/~rsand1/china2018/texts/Anderson-Krathwohl%20-%20A%20taxonomy%20for%20learning%20teaching%20and%20assessing.pdf>
- 27 Feisel, L. A Taxonomy of Technical Knowledge Disponible a diciembre 2019 en <http://iucee.org/iucee/wp-content/uploads/2018/11/A-Taxonomy-of-Technical-Knowledge-160808.pdf>
- 28 Smith, G. Wood, L. Coupland, M. y Stephenson, B. Constructing mathematical examinations to assess a range of knowledge and skills. International Journal of Mathematics Education in Science and Technology, 27(1):65-77, 1996. Disponible a diciembre 2019 en [https://www.researchgate.net/profile/Leigh\\_Wood/publication/226328009\\_The\\_Secondary-tertiary\\_Interface/links/0f317534c8c1c1ace1000000/The-Secondary-tertiary-Interface.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Leigh_Wood/publication/226328009_The_Secondary-tertiary_Interface/links/0f317534c8c1c1ace1000000/The-Secondary-tertiary-Interface.pdf)
- 29 Darlington, E. (2013) The use of Bloom's Taxonomy in advanced mathematics questions. Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics (C. Smith ed.). Bristol, UK, pp. 7-12 Disponible a diciembre 2019 en la red.

donde las actividades que necesitan un enfoque más superficial aparecen a la izquierda, las más profundas a la derecha, en la tabla abajo.

Grupo A	Grupo B	Grupo C
Conocimiento factual Comprensión	Transferencia de información Aplicación a nuevas situaciones	Justificación e interpretación Implicaciones, conjeturas y comparaciones Evaluación
Uso rutinario de procedimientos		

Otra taxonomía difundida es la DOK (sigla por Depth Of Knowledge) de Webb<sup>30</sup>, que al menos en su origen fue pensada para matemática y ciencias. Tiene cuatro niveles: el primer nivel es pensamiento memorístico, el segundo, de procesamiento, el tercero, estratégico y el cuarto, pensamiento extendido.

## 4 El enfoque CDIO

El enfoque CDIO debe la sigla de su nombre a que toma como premisa que el trabajo de un ingeniero está inscripto en alguno(s) de los siguientes ítems: Concebir, Diseñar, Implementar u Operar productos, procesos o sistemas, y en consecuencia ofrece un marco de planificación curricular de la ingeniería que enfatiza sus fundamentos en el contexto de los mencionados elementos: Concepción - Diseño - Implementación - Operación. Está implícita la expectativa adicional de que los egresados de ingeniería deben desarrollarse como individuos íntegros, maduros y reflexivos. Fue creado hacia el año 2000 por iniciativa del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) en los Estados Unidos y realizado conjuntamente con las universidades Universidad Tecnológica Chalmers (Chalmers), la Universidad de Linköping (LiU) y el Real Instituto de Tecnología (KTH), todas ellas de Suecia. Actualmente en su página web<sup>31</sup> se cuentan 175 instituciones integrantes de todo el mundo. Puede verse una descripción de la iniciativa en el libro de Crawley et al.<sup>32</sup>, de donde el suscrito ha tomado conceptos para elaborar el presente resumen, salvo mención en contrario los párrafos entrecomillados se refieren a ese libro. En la página de bibliografía<sup>33</sup> de la CDIO se puede encontrar más referencias, en particular en la página de la LiU<sup>34</sup> hay una breve introducción al CDIO. Un ejemplo de implementación en la región a la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) de Medellín está expuesto en el capítulo 5 y Anexo 1 de Ocampo<sup>35</sup>

El enfoque intenta dar un mecanismo sistemático para responder a dos preguntas:

30 Webb, N. L. (1997). Criteria for alignment of expectations and assessments in mathematics and science education (Council of Chief State School Officers and National Institute for Science Education Research Monograph No. 6). Madison, WI: University of Wisconsin–Madison, Wisconsin Center for Education Research. Disponible a enero 2020 en <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED414305.pdf> Ver también [https://www.aps.edu/saprr/documents/resources/Webbs\\_DOK\\_Guide.pdf](https://www.aps.edu/saprr/documents/resources/Webbs_DOK_Guide.pdf)

31 Ver <http://www.cdio.org/cdio-collaborators/school-profiles>.

32 Crawley, E. F., Malmqvist, J., Östlund S., Brodeur, D. R., Edström, K. (2014) Rethinking Engineering Education The CDIO Approach Second Edition- Springer

33 Ver <http://www.cdio.org/knowledge-library>.

34 Ver <https://www.lith.liu.se/internwebb/cdio?!=en&sc=true>

35 Ocampo, C (2012) Método de Construcción de Currículos para Formación en Educación Superior a partir de Modelos de Gestión de Conocimiento. Tesis de Maestría, disponible a enero 2020 en [http://bdigital.unal.edu.co/6934/1/70568895\\_2012.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/6934/1/70568895_2012.pdf)

- ¿Cuál es el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes que los estudiantes de ingeniería deben poseer al salir de la universidad y con qué nivel de competencia?
- ¿Cómo podemos mejorar para asegurar que los estudiantes aprendan estas habilidades?

En las Subsecciones 4.1 a 4.4 se contesta la primera pregunta, en las Subsecciones 4.5 y 4.6 se esbozan respuestas a la segunda. En la Subsección 4.7 se incluyen algunos apuntes de historia de la ingeniería, siempre tomados del libro de Crawley et al.<sup>32</sup>. A continuación se describen los dos elementos claves del enfoque CDIO: un sílabo y los estándares.

## 4.1 El sílabo<sup>36</sup>

El sílabo es un listado de posibles metas para la formación de grado de los ingenieros, las que pueden integrar la base para los resultados educativos y de aprendizaje, para el diseño de los planes de estudios o para un sistema integral de evaluación del aprendizaje de los estudiantes. El propuesto a continuación es un documento de referencia, no es prescriptivo, puede ser modificado en la forma que parezca adecuada. El sílabo propuesto se presenta en varios niveles, en el primer nivel aparecen cuatro ítems.

“Una persona interesada en aspectos técnicos posee un conjunto de *Habilidades y Atributos Personales y Profesionales*, que son centrales para la práctica. Para desarrollar sistemas complejos de ingeniería de valor añadido, los estudiantes deben dominar los fundamentos de los *Conocimientos Disciplinarios y de Razonamiento* apropiados. Para trabajar en un ambiente moderno de equipo, los estudiantes deben haber desarrollado las *Habilidades Interpersonales de trabajo en equipo y comunicaciones*. Finalmente, para crear y operar productos y sistemas, el estudiante debe haber sido introducido en *Concebir, Diseñar, Implementar y Operar Sistemas en el Contexto Empresarial, Social y Ambiental*. Es así que aparecen los cuatro niveles primarios”:

1. CONOCIMIENTOS TÉCNICOS<sup>37</sup>
2. HABILIDADES Y ATRIBUTOS PERSONALES Y PROFESIONALES
3. HABILIDADES INTERPERSONALES: COMUNICACIÓN Y TRABAJO EN EQUIPO
4. CONCEBIR, DISEÑAR, IMPLEMENTAR Y OPERAR SISTEMAS EN EL CONTEXTO ORGANIZACIONAL Y SOCIAL

En el segundo nivel, se propone la siguiente desagregación:

- 1 CONOCIMIENTOS TÉCNICOS<sup>37</sup>
  - 1.1 Conocimientos en ciencias básicas
  - 1.2 Conocimientos en los fundamentos de la especialidad
  - 1.3 Conocimientos avanzados de la especialidad

<sup>36</sup> Disponible a diciembre 2019 en [http://www.cdio.org/files/project/file/cdio\\_syllabus\\_v2.pdf](http://www.cdio.org/files/project/file/cdio_syllabus_v2.pdf)

<sup>37</sup> Se mantuvo la versión en español del sílabo para ser coherente con los demás documentos en español, aunque se observan algunas diferencias de denominación y contenido en algunos ítems con el sílabo en inglés. Por ejemplo, el ítem 1. CONOCIMIENTOS TÉCNICOS, correspondería a 1. CONOCIMIENTOS DISCIPLINARIOS Y DE RAZONAMIENTO si se hace una traducción literal. La versión en inglés está disponible a enero 2020 en <https://www.ed.ac.uk/institute-academic-development/learning-teaching/research/experience-of-learning>

## 2 HABILIDADES Y ATRIBUTOS PERSONALES Y PROFESIONALES

- 2.1 Solución de problemas y razonamiento ingenieril
- 2.2 Experimentación y conducción de investigaciones
- 2.3 Pensamiento sistémico
- 2.4 Habilidades y actitudes personales
- 2.5 Habilidades y actitudes profesionales

## 3 HABILIDADES INTERPERSONALES: COMUNICACIÓN Y TRABAJO EN EQUIPO

- 3.1 Trabajo en equipo
- 3.2 Comunicación efectiva
- 3.3 Comunicación en idiomas extranjeros

## 4 CONCEBIR, DISEÑAR, IMPLEMENTAR Y OPERAR SISTEMAS EN EL CONTEXTO ORGANIZACIONAL Y SOCIAL

- 4.1 Contexto social y externo
- 4.2 Contexto organizacional y de negocios
- 4.3 Concebir y aplicar ingeniería a los sistemas
- 4.4 Diseñar
- 4.5 Implementar
- 4.6 Operar

Este listado se desagrega a su vez en un tercer nivel, para su examen se remite al vínculo correspondiente<sup>38</sup>. Es de observar que el tópico “Conocimientos técnicos” del nivel 1 no aparece desagregado al nivel 3 porque es muy dependiente de la rama de ingeniería que se esté considerando, es decir, la mencionada desagregación debe ser hecha en cada carrera en particular. En cambio se considera que los restantes ítems pueden ser comunes a todas las carreras. En el enfoque CDIO se elabora la tabla desagregada hasta el cuarto nivel<sup>39</sup>.

### 4.2 Los estándares<sup>40</sup>

“Los estándares CDIO definen los rasgos que permiten distinguir un programa CDIO sirven como directrices para la reforma y la evaluación de programas educacionales, generan puntos de referencia y metas que pueden aplicarse internacionalmente, y proporcionan un marco para la mejora continua. Los 12 Estándares CDIO abordan la filosofía del programa (Estándar 1), el desarrollo del currículo (Estándares 2, 3 y 4), las experiencias de diseño-implementación y los espacios de trabajo (Estándares 5 y 6), los métodos de enseñanza y aprendizaje (Estándares 7 y 8),

38 Disponible a diciembre 2019 en <http://www.cdio.org/files/syllabus/CDIOSyllabus3rdLevelSpanish.pdf>.

39 Disponible a diciembre 2019 en <http://www.cdio.org/files/document/file/CDIOSyllabus4thLevelSpanish.pdf>.

40 Disponible a diciembre 2019 en <http://www.cdio.org/files/syllabus/CDIOStandardsv2Spanish%202010.pdf>.

el desarrollo docente (Estándares 9 y 10), y la evaluación (Estándares 11 y 12). Cada estándar se presenta con una descripción, una fundamentación y una rúbrica.”

### **4.3 Determinación de niveles de competencia de cada elemento del sílabo**

En esta etapa, se parte de la base que como mínimo se conoce la razón de ser de la carrera, incluyendo su contexto y las futuras tareas y roles profesionales de sus graduados. A continuación, se identifica un conjunto de personas interesadas en el tema (docentes, estudiantes, egresados, cámara de industrias, ...) para recabar su opinión sobre el sílabo ya sea mediante entrevistas, grupos focales, talleres, encuestas. Lo importante es tener en cuenta el nivel de detalle por un lado, y por otro el método de priorización. Sobre el nivel de detalle, en esta etapa, se sugiere usar el sílabo hasta el nivel 2, en que seguramente habrá alrededor de 15 tópicos. El nivel 1 resultaría muy pobre, y el nivel 3 tendrá cerca de 100 ítems, lo que puede ser excesivo en muchos casos. De todas formas, si bien la opinión se recabaría hasta el nivel 2, el presentar el nivel 3 puede servir para aclarar significados y contenidos de algunos tópicos. Sobre el método de priorización, la sugerencia es hacer preguntas tanto cuantitativas como cualitativas. Las preguntas no deben permitir responder que todos los elementos son igualmente importantes. Se pueden hacer varias preguntas, por ejemplo "¿Qué nivel de competencia deben alcanzar los estudiantes al graduarse?, alternatively, "¿Cuál es la importancia relativa de estos temas?", o "Relativamente, ¿cuánto tiempo debería dedicarse a este tema?". En los aspectos cuantitativos, una sugerencia es colocar un número a cada tópico, determinado a partir de cuál de las siguientes afirmaciones se le puede anteponer<sup>41</sup>:

1 si se le puede anteponer “Haber experimentado o haber estado expuesto a...”

2 si “Poder participar en y contribuir a...”

3 si “Ser capaz de entender y explicar...”

4 si “Ser hábil en la práctica o implementación de...”

5 si “Ser capaz de liderar o innovar en...”

Cada una de las expresiones anteriores es un nivel de competencia diferente. La siguiente etapa consiste en llegar a consensos con toda la información obtenida, y determinar el nivel de competencia de cada ítem *en el tercer nivel* del sílabo. En la página 76 y ss. del Crawley al.<sup>32</sup> se describe este proceso en el caso del MIT.

### **4.4 Traduciendo los niveles de competencia en resultados de aprendizaje**

A continuación, la idea es traducir los niveles de competencia en resultados de aprendizaje. Para ello se sugieren los siguientes pasos:

- Elegir una taxonomía de los resultados del aprendizaje.
- Elaborar una correspondencia entre la escala de calificación utilizada para determinar los niveles de competencia esperados y la taxonomía.

<sup>41</sup> Se supone que se coloca el mayor número admisible.

- Especificar un resultado del aprendizaje para cada uno de los temas al mayor nivel del sílabo utilizando la correspondencia anterior.

Por ejemplo, supongamos que se usa la Taxonomía de Bloom, una correspondencia podría ser la dada por las primeras dos columnas de la tabla siguiente:

Escala de valoración de la competencia	Dominio cognitivo de la taxonomía de Bloom	Ejemplos de resultados de aprendizaje
Haber experimentado o haber estado expuesto a		
Poder participar en y contribuir a	Conocimiento	Enumere los supuestos y las fuentes de sesgo
Ser capaz de entender y explicar	Comprensión	Explique las discrepancias en los resultados
Ser hábil en la práctica o implementación de	Aplicación	Practique análisis de costo-beneficio y de riesgos
	Análisis	Discrimine las hipótesis a probar
Ser capaz de liderar o innovar en	Síntesis	Construya las abstracciones necesarias para modelar el sistema
	Evaluación	Haga juicios razonables sobre la evidencia material

Finalmente, se convierten los tópicos del sílabo en resultados de aprendizaje, asociándole a cada uno una frase con un verbo que describa lo mejor posible el nivel de competencia. Se muestran ejemplos de cómo podrían ser esas frases en la última columna de la tabla anterior.

#### 4.5 Primera etapa del diseño de un currículo integrado

Este es el objeto del capítulo 4 del Crawley et al.<sup>32</sup> Un currículo integrado es un currículo diseñado con cursos disciplinarios que se apoyan mutuamente (establecen conexiones explícitas entre contenidos y resultados de aprendizajes relacionados), con un plan explícito para integrar habilidades personales e interpersonales y habilidades de construcción de productos, procesos y sistemas. Un currículo integrado se caracteriza por:

- Resultados de aprendizaje del programa que sistemáticamente se reducen a resultados de aprendizaje en cada uno de las unidades curriculares.
- Componentes del sistema educativo que se apoyan mutuamente en el aprendizaje de los fundamentos de la disciplina y en el logro de los niveles deseados de habilidades profesionales.
- Un currículo explícito que sea adoptado y apropiado por todo el profesorado.



Esto se puede llevar a la práctica mediante varios documentos confluyentes, a continuación se dan ejemplos:

- a) En Malmqvist et al.<sup>42</sup> se explicita cómo implementó el KTH estas ideas para diseñar el currículo de la carrera de ingeniería de vehículos. Resumidamente, una vez establecido el sílabo con los resultados de aprendizaje de 4.4 se elabora una matriz en que aparecen en la primera columna, el sílabo con sus resultados de aprendizaje, y en la primera fila, las unidades curriculares involucradas. La matriz establece qué resultados de aprendizaje estarán a cargo de cuáles unidades curriculares, por ejemplo, tendría un aspecto como el siguiente:

	Unidad curricular 1	Unidad curricular 2	Unidad curricular 3
1.1	X	X	
1.2		X	
1.3			X
2.1		X	

- b) En Gunnarsson et al.<sup>43</sup> se explicita el llamado “estudio de puntos de referencia”. A los docentes se les pregunta en qué medida se abordan los resultados específicos del aprendizaje en sus respectivos cursos. Para cada uno de los temas del segundo nivel del sílabo se les pide a los docentes que identifiquen los resultados del aprendizaje y la forma en que se implementan en el diseño del curso. A estos efectos se definen tres actividades: introducir (I), enseñar (E) y usar (U), determinadas a través de la siguiente tabla:

	Resultados del aprendizaje	Actividades de aprendizaje	Evaluación
Introducir	Probablemente un resultado no explícito	El tópico está incluido en una actividad	No evaluado
Enseñar	Debe ser un resultado de aprendizaje explícito	Incluido en una actividad obligatoria. Los estudiantes practican y reciben realimentación	La ejecución de los estudiantes es evaluada. Puede ser o no ser calificada
Usar	Puede ser un resultado de aprendizaje relacionado	Se usa para alcanzar otros resultados previstos	Usado para evaluar otros resultados

Para cada carrera se elabora una matriz en la que en la primera columna se colocan ítems del sílabo (a nivel 2 o 3, por ejemplo) y en las columnas los distintos cursos de los ejemplos de

42 Malmqvist, J., Östlund, S., y Edström, K. (2006). Using integrated program descriptions to support a CDIO programme design process. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 5(2), 259–262. [http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.5.%20No.2%20\(2006\)/04\\_Malmqvist2.pdf](http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.5.%20No.2%20(2006)/04_Malmqvist2.pdf)

43 Gunnarsson, S., Herbertsson, H., Kindgren, A., Wiklund, I., Willumsen, L., y Vigild, M. (2009). Using the CDIO syllabus in the formulation of program goals: Experiences and comparisons. In *Proceedings of the 5th International CDIO Conference*, Singapore, 2009. [https://www.researchgate.net/profile/Ingela\\_Wiklund2/publication/228900856\\_USING\\_THE\\_CDIO\\_SYLLABUS\\_IN\\_FORMULATION\\_OF\\_PROGRAM\\_GOALS-EXPERIENCES\\_AND\\_COMPARISONS/links/00b7d5208a9dfdea41000000/USING-THE-CDIO-SYLLABUS-IN-FORMULATION-OF-PROGRAM-GOALS-EXPERIENCES-AND-COMPARISONS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ingela_Wiklund2/publication/228900856_USING_THE_CDIO_SYLLABUS_IN_FORMULATION_OF_PROGRAM_GOALS-EXPERIENCES_AND_COMPARISONS/links/00b7d5208a9dfdea41000000/USING-THE-CDIO-SYLLABUS-IN-FORMULATION-OF-PROGRAM-GOALS-EXPERIENCES-AND-COMPARISONS.pdf)

implementación. En cada elemento de la matriz se coloca la inicial que corresponda (I, E, U) o se deja en blanco si no corresponde. La matriz tendría el aspecto:

	Unidad curricular 1	Unidad curricular 2	Unidad curricular 3
1.1	U		IEU
1.2	E	EU	
1.3			IE
2.1		I	

- c) También en Gunnarsson et al.<sup>43</sup> se mencionan las matrices de progresión de habilidades. Se establece un número para cada nivel de la taxonomía elegida, por ejemplo si es la de Bloom, el 1 sería Conocimiento, el 2 Comprensión, el 3 Aplicación y así sucesivamente. En las columnas se colocan las unidades curriculares de un ejemplo de implementación, y en filas los elementos del sílabo a nivel 2. En cada elemento de la matriz se coloca el número correspondiente. Con colores para cada nivel de la taxonomía, se puede visualizar cómo se avanza en los niveles con el avance en la carrera.

	Unidad curricular 1	Unidad curricular 2	Unidad curricular 3
1.1	1		
1.2	2	2	2/3
1.3	2		4
2.1		4	

En términos generales, en enseñanza media en Uruguay se alcanza dominio en recordar y comprender y en los niveles cognitivos más elevados (aplicar, analizar, sintetizar, evaluar), se observan más deficiencias. En los primeros años de la carrera debería ser puesto un adecuado énfasis en aplicar y analizar los objetivos que correspondan (sin dejar de lado otros niveles), que no son solamente los del temario de la unidad curricular, sino otros objetivos de los planes de estudios con los que la unidad curricular colabora en contribuir. A medida que la carrera progresa, se debería apuntar más a sintetizar y evaluar, ver al respecto por ejemplo la guía de implementación de la Oklahoma Baptist University<sup>44</sup>. Con esta información, en esta etapa la idea es diseñar los objetivos en las unidades curriculares, y aquí es donde entran en juego las taxonomías, mencionadas en la Sección 3. Es claro que no todos los elementos del temario ni demás ítems del plan de estudios deben ser desarrollados con el mayor nivel cognitivo, pero sí que el temario debe contener elementos que contribuyan a desarrollar lo planificado hasta esta etapa.

En el capítulo 4 de Crawley et al.<sup>32</sup> se dan algunas sugerencias generales sobre las unidades curriculares que podrían integrar la carrera: 1) la existencia de cursos de introducción a las ingenierías que sirvan de visión general, motivación y que creen el marco para la carrera, 2) cursos disciplinarios interrelacionados que, al ser el núcleo de la carrera, hagan contribuciones sustanciales a los resultados esperados 3) experiencias de diseño-implementación: cursos basados en proyectos

44 Oklahoma Baptist University, "Guidelines for Bloom's Taxonomy Usage For Instructional Design" disponible a enero 2020 en <https://www.google.com.uy/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjeycD60Y3nAhWiKLkGHbjDC-AQFjAAegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.okbu.edu%2Finstitutional-effectiveness%2Fdocuments%2Fguidelines-for-blooms-taxonomy.pdf&usg=AOvVaw3s2>

que permitan a los estudiantes trabajar en problemas alineados con la práctica profesional 4) una (o más) experiencias sumativas, del tipo proyecto de fin de carrera que incluye una experiencia sustancial en la que los estudiantes conciben, diseñan, implementan u operan un producto, proceso o sistema.

## 4.6 ¿Cómo asegurarse que los estudiantes adquieran los conocimientos y habilidades especificadas?

En los capítulos 5 a 10 de Crawley et al.<sup>32</sup> se continúa con el tema iniciado en la Subsección 4.5 anterior, sobre cómo asegurarse que los estudiantes adquieran los conocimientos y habilidades especificadas, y que completaría la elaboración de un currículo integrado. En este documento se hará poco énfasis en este tema, no porque no sea importante -que lo es y mucho- sino que por un lado, su consideración sería función de lo alcanzado en la etapa de diseño anterior. Por otro lado, de alguna manera la orientación del contenido de los capítulos 5 y 6 de Crawley et al.<sup>32</sup> ya fue considerado en otros trabajos: ver la Sección 3 del Capítulo 2 “Estudiantes y Enseñanza de Grado” de las Memorias vivas de la Facultad<sup>45</sup>, ver el documento del Claustro sobre abandono estudiantil en los años iniciales: “Informe de la comisión de actividades de Enseñanza” de fecha agosto de 2015<sup>46</sup> y ver también la Resolución correspondiente N°50 del 15/11/2016 del Consejo de la Facultad de Ingeniería<sup>47</sup>. En cuanto al Capítulo 7, un trabajo sobre evaluación (que es a lo que se refiere ese capítulo) está siendo elaborado sobre la Comisión de Actividades de Enseñanza del Claustro. De todas formas, para dar los títulos sobre a qué se refieren los mencionados capítulos, el 5 se denomina “Experiencias de diseño e implementación y espacios de trabajo de ingeniería”, y versa sobre las llamadas “experiencias prácticas”<sup>48</sup>, el Capítulo 6 se refiere a Aprendizaje activo y el Capítulo 7 trata sobre Evaluación de aprendizajes. Los siguientes capítulos también son importantes, aunque tampoco se desarrollarán aquí. El Capítulo 8 incluye comentarios sobre la implementación del enfoque CDIO en facultades, y el Capítulo 9, que se relaciona con la Subsección 4.2 de estándares, se refiere a la evaluación del programa como un todo, es decir, es el tema de control. El suscrito se refiere al texto de Crawley et al.<sup>32</sup> sobre todos estos temas.

## 4.7 Apuntes históricos

El Capítulo 10 de Crawley et al.<sup>32</sup> hace un resumen de los 200 últimos años de la ingeniería, entendiendo que al emprender cambios en su enseñanza es importante comprender el contexto histórico. En lo que sigue de la subsección, se transcriben y resumen algunas ideas, aunque es de señalar, se hará en forma bastante incompleta. Básicamente, durante gran parte de ese período se señala un penduleo entre dos concepciones, una, la enseñanza técnica práctica, especializada y basada en la artesanía, la otra, la enseñanza basada en la ciencia, si bien un estudio más detallado puede determinar un espectro de posiciones. En el siglo 19 y en la primera concepción están muchas instituciones del Reino Unido, en la segunda posición se encuentran las grandes écoles

45 Disponible a enero 2020 en <https://www.fing.edu.uy/memorias-vivas/capitulo2>

46 Disponible a enero 2020 en [https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/claustro\\_citaciones/2015/distribuido/23974/14-2015%20Informe%20comisi%C3%B3n%20%20Actividades%20de%20ense%C3%B1anza%20%28v7\\_8\\_15%29.pdf](https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/claustro_citaciones/2015/distribuido/23974/14-2015%20Informe%20comisi%C3%B3n%20%20Actividades%20de%20ense%C3%B1anza%20%28v7_8_15%29.pdf)

47 Disponible a enero 2020 en <http://www.expe.edu.uy/expe/resoluci.nsf/49234bd62bde699f03256f3500602bcc/62a8cd692d4e629c03258067005c7a1f?OpenDocument>

48 “hands-on experiences”

francesas basadas en la École Polytechnique francesa. Fueron evidentes desde el principio las tensiones entre la formación politécnica basada en la física y la matemática frente a las habilidades prácticas en el dibujo técnico y los experimentos de laboratorio. Hacia fines del siglo 19 y principios del 20, la estructura curricular de muchas instituciones de ingeniería estaba basada sobre los cuatro grandes de la ingeniería de ese momento: civil, mecánica, química y eléctrica.

Al principio, había una brecha en los planes de estudios de ingeniería entre las asignaturas científicas basadas en altos grados de conocimientos matemáticos formalizados y las asignaturas técnicas más descriptivas y menos codificadas. Las controversias suscitadas por esta brecha dieron como resultado el posicionamiento de las ciencias técnicas como secundarias, o aplicadas, en relación con las ciencias naturales. Las universidades técnicas, por lo menos en Europa, se vieron restringidas de otorgar títulos de doctorado y de abordar asuntos científicos sin el apoyo de profesores universitarios versados en las ciencias naturales. Durante la primera mitad del siglo XX, las universidades politécnicas lucharon por ser aceptadas. Fueron reconocidas por sus fundamentos en la ciencia, pero se les cuestionó si podían llevar a cabo investigaciones científicas independientes. La idea de la ciencia como base de la ingeniería aparece con fuerza a partir de y creada por las necesidades impuestas por Segunda Guerra Mundial.

Las décadas de la posguerra vieron el surgimiento de la ingeniería de sistemas como herramienta de ingeniería de amplia aplicación. Las ciencias de los sistemas que incluyen la teoría del control, la teoría de los sistemas, la ingeniería de sistemas, la investigación de operaciones, la dinámica de sistemas, la cibernética y otras, llevaron a los ingenieros a concentrarse en la construcción de modelos analíticos de sistemas de pequeña y gran escala, a menudo haciendo uso de las nuevas herramientas proporcionados por computadoras digitales y simulaciones. Las técnicas van desde herramientas prácticas de gestión, como la ingeniería de sistemas, hasta formalismos técnicos, tales como como teoría de control, a formulaciones más matemáticas, como la investigación de operaciones. Un amplio movimiento dentro de la ingeniería encontró que estas herramientas podrían finalmente proveer la base teórica para toda la ingeniería que va más allá de los principios básicos proporcionados por las ciencias naturales. Esta nueva relación y comprensión de las ciencias naturales y técnicas se refleja en la noción de la ingeniería como tecnociencia, concepto que refleja una nueva relación íntima de más paridad entre la tecnología y la ciencia, distinta de la de tomar la ciencia como base de la ingeniería.

El crecimiento del uso de la tecnología en la segunda mitad del siglo XX, en combinación con las grandes inversiones realizadas en la investigación en ingeniería por la industria y por los institutos de investigación y las universidades ha dado lugar a un enorme crecimiento del conjunto de conocimientos tecnológicos, del número de nuevos dominios tecnológicos y de las disciplinas especializadas de las ciencias técnicas. La diferenciación en las especialidades de la ingeniería ejerce presión sobre la enseñanza de la ingeniería para hacer frente a la diversidad y mantenerse en la primera línea del conocimiento en diversos campos. En muchas instituciones, esto dio lugar a una serie de nuevas especializaciones. Los cambios en las demandas de especialización crearon una tensión entre los conocimientos generales de ingeniería y los conocimientos especializados necesarios en dominios individuales de la tecnología y la práctica de la ingeniería en, por ejemplo, la ingeniería de carreteras, la construcción naval, la ingeniería sanitaria, la ingeniería de minas, la ingeniería energética, la ingeniería offshore, la ingeniería de microcircuitos, la bioingeniería, la nanotecnología, la ingeniería multimedia y la ingeniería de turbinas eólicas. La evolución de la

tecnología ha hecho que los límites entre las disciplinas de la ingeniería se desdibujen. Lo que antes eran áreas de ingeniería bastante distintas (civil, mecánica, química, eléctrica) se han convertido ahora en combinaciones de dos o más campos y sus disciplinas.

Los debates sobre la enseñanza de la ingeniería tienden a repetir una serie de discusiones una y otra vez. Un ejemplo es el equilibrio entre las habilidades prácticas y el conocimiento teórico. Si bien el debate puede parecer el mismo, el contenido ha cambiado radicalmente durante el más de un siglo de controversia. La lista de las habilidades prácticas relevantes no sería la misma, y de manera similar, el conocimiento teórico ha evolucionado como resultado de los desarrollos tecnológicos, las herramientas avanzadas, las computadoras y los modelos de simulación. Las reformas necesitan producir una nueva realización del tipo de conocimientos prácticos relevantes para la enseñanza de la ingeniería hoy en día.

Otro desafío es el equilibrio entre el conocimiento especializado y el generalista en la ingeniería. Se produce un proceso en el que el conocimiento y las habilidades actuales cambian continuamente. Los nuevos conocimientos y habilidades que comienzan como parte de una frontera científica se consideran exigentes. A medida que se mueve la frontera de la innovación tecnológica, ese conocimiento y esas habilidades se convierten en parte de los procedimientos de ingeniería estándar, de las normas técnicas, de los componentes estandarizados y de los conceptos de diseño, apoyados por herramientas computarizadas y modelos de simulación. Lo que se considera central o básico en un plan de estudios de ingeniería cambia a raíz de la expansión de nuevos dominios y disciplinas de la ingeniería, a pesar de que todos están dominados por la idea de un fundamento teórico común.

## **5 Un par de sugerencias**

1. Respecto a las unidades curriculares, el suscrito sugiere que, como primera etapa, la Facultad elabore una guía, que podría estar basada en la taxonomía clásica de Bloom,<sup>49</sup> para que las diversas unidades curriculares trabajen en una segunda etapa afinando sus objetivos, teniendo en cuenta no solamente el temario de sus cursos sino también los objetivos de los planes de estudios. Esta guía debería ser elaborada con intervención de las comisiones de carrera. Se debería distinguir entre objetivos que el estudiante debe alcanzar por un lado, para aprobar el curso, y por el otro para exonerarlo, como había establecido la subcomisión de la CoPE mencionada en 2.3. En lo que respecta a la implementación de los cambios que se produzcan se debe ser cuidadoso, en particular, cambios en el programa pueden producir cambios no solamente en las evaluaciones sino también en el curso: los estudiantes deben recibir las herramientas necesarias especificadas en los programas. En el caso de las unidades curriculares, el fijar objetivos debe servir como orientación para los cursos, y para

---

<sup>49</sup> En contraste con la libertad en las unidades curriculares que se sugiere para adoptar una taxonomía de objetivos de aprendizaje, si se fuera a recorrer alguna de las presentes sugerencias, a nivel de Facultad debería adoptarse una sola taxonomía, y tratar de donde sea necesario, que se hagan las “traducciones” a dicha taxonomía. Se sugiere a nivel Facultad usar la taxonomía clásica de Bloom, que si bien tiene más de 60 años, ha demostrado tener fortaleza como para seguir perdurando con éxito frente a otras que se crearon posteriormente. Incluso parece preferible a la de Bloom revisada: si bien el nivel de “crear” es el más alto si se piensa en creación original, a nivel de cursos de grado la ubicación del nivel de “síntesis” parece más adecuada donde lo presenta la taxonomía de Bloom clásica. Además el tema de la doble dimensionalidad de la taxonomía de Bloom revisada agregaría un problema adicional que parece conveniente, al menos por el momento, simplificar.

las evaluaciones parecen razonables los conceptos mencionados por Lok<sup>4</sup>, en que se sugiere llegar a un equilibrio razonable entre una calificación referida por normas y una calificación referida por criterios.

2. Sobre las carreras, el suscrito sugiere que la Facultad elabore currículos integrados. Lo expuesto en el presente documento está solamente al nivel de concepción de la primera etapa de la elaboración de un currículo integrado. Incluso si se siguiera el enfoque CDIO, habría que hacer el diseño desde las primeras etapas (elaboración del sílabo) en adelante. En caso que se siga adelante con la elaboración del currículo integrado, una idea puede ser trabajar en paralelo con la revisión de los objetivos de las unidades curriculares señalada en 5.1., de forma de que cuando el resultado del trabajo de elaboración de un currículo integrado se cruce con el de las unidades curriculares, el intercambio para llegar a una síntesis sobre los objetivos genéricos de los programas pueda ser más rico. Algunas de las conclusiones a las que se llegue en esta etapa podrán ser implementadas sin inconvenientes en las unidades curriculares, otras podrán exigir un mayor trabajo de elaboración.

Heber Enrich, enero de 2020

**TAXONOMÍA DE BLOOM DE HABILIDADES DE PENSAMIENTO (1956)**

CATEGORÍA	CONOCIMIENTO RECOGER INFORMACIÓN	COMPRENSIÓN CONFIRMACIÓN APLICACION	APLICACIÓN HACER USO DEL CONOCIMIENTO	ANÁLISIS (ORDEN SUPERIOR) DIVIDIR, DESGLOSAR	SINTETIZAR (ÓRDEN SUPERIOR), REUNIR, INCORPORAR	EVALUAR (ÓRDEN SUPERIOR) JUZGAR EL RESULTADO
<b>Descripción</b> Las habilidades que se deben demostrar en este nivel son:	Observación y recordación de información; conocimiento de fechas, eventos, lugares; conocimiento de las ideas principales; dominio de la materia.	Entender la información; captar el significado; trasladar el conocimiento a nuevos contextos; interpretar hechos; comparar, contrastar; ordenar, agrupar; inferir las causas predecir las consecuencias.	Hacer uso de la información; utilizar métodos, conceptos, teorías, en situaciones nuevas; solucionar problemas usando habilidades o conocimientos.	Encontrar patrones; organizar las partes; reconocer significados ocultos; identificar componentes.	Utilizar ideas viejas para crear otras nuevas; generalizar a partir de datos suministrados; relacionar conocimiento de áreas diversas; predecir conclusiones derivadas.	Comparar y discriminar entre ideas; dar valor a la presentación de teorías; escoger basándose en argumentos razonados; verificar el valor de la evidencia; reconocer la subjetividad.
<b>Que Hace el Estudiante</b>	El estudiante recuerda y reconoce información e ideas además de principios aproximadamente en misma forma en que los aprendió.	El estudiante esclarece, comprende, o interpreta información en base a conocimiento previo.	El estudiante selecciona, transfiere, y utiliza datos y principios para completar una tarea o solucionar un problema.	El estudiante diferencia, clasifica, y relaciona las conjeturas, hipótesis, evidencias, o estructuras de una pregunta o aseveración.	El estudiante genera, integra y combina ideas en un producto, plan o propuesta nuevos para él o ella.	El estudiante valora, evalúa o critica en base a estándares y criterios específicos.
<b>Ejemplos de Palabras Indicadoras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- define</li> <li>- lista</li> <li>- rotula</li> <li>- nombra</li> <li>- identifica</li> <li>- repite</li> <li>- quién</li> <li>- qué</li> <li>- cuando</li> <li>- donde</li> <li>- cuenta</li> <li>- describe</li> <li>- recoge</li> <li>- examina</li> <li>- tabula</li> <li>- cita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- predice</li> <li>- asocia</li> <li>- estima</li> <li>- diferencia</li> <li>- extiende</li> <li>- resume</li> <li>- describe</li> <li>- interpreta</li> <li>- discute</li> <li>- extiende</li> <li>- contrasta</li> <li>- distingue</li> <li>- explica</li> <li>- parafrasea</li> <li>- ilustra</li> <li>- compara</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aplica</li> <li>- demuestra</li> <li>- completa</li> <li>- ilustra</li> <li>- muestra</li> <li>- examina</li> <li>- modifica</li> <li>- relata</li> <li>- cambia</li> <li>- clasifica</li> <li>- experimenta</li> <li>- descubre</li> <li>- usa</li> <li>- computa</li> <li>- resuelve</li> <li>- construye</li> <li>- calcula</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- separa</li> <li>- ordena</li> <li>- explica</li> <li>- conecta</li> <li>- divide</li> <li>- compara</li> <li>- selecciona</li> <li>- explica</li> <li>- infiere</li> <li>- arregla</li> <li>- clasifica</li> <li>- analiza</li> <li>- categoriza</li> <li>- compara</li> <li>- contrasta</li> <li>- separa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- combina</li> <li>- integra</li> <li>- reordena</li> <li>- substituye</li> <li>- planea</li> <li>- crea</li> <li>- diseña</li> <li>- inventa</li> <li>- que pasa si?</li> <li>- prepara</li> <li>- generaliza</li> <li>- compone</li> <li>- modifica</li> <li>- diseña</li> <li>- plantea hipótesis</li> <li>- inventa</li> <li>- desarrolla</li> <li>- formula</li> <li>- reescribe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- decide</li> <li>- establece gradación</li> <li>- prueba</li> <li>- mide</li> <li>- recomienda</li> <li>- juzga</li> <li>- explica</li> <li>- compara</li> <li>- suma</li> <li>- valora</li> <li>- critica</li> <li>- justifica</li> <li>- discrimina</li> <li>- apoya</li> <li>- convence</li> <li>- concluye</li> <li>- selecciona</li> <li>- establece rangos</li> <li>- predice</li> <li>- argumenta</li> </ul>
<b>EJEMPLO DE TAREA(S)</b>	Describe los grupos de alimentos e identifica al menos dos alimentos de cada grupo. Hace un poema acróstico sobre la comida sana.	escriba un menú sencillo para desayuno, almuerzo, y comida utilizando la guía de alimentos	Qué le preguntaría usted a los clientes de un supermercado si estuviera haciendo una encuesta de que comida consumen? (10 preguntas)	Prepare un reporte de lo que las personas de su clase comen al desayuno	Componga una canción y un baile para vender bananos	Haga un folleto sobre 10 hábitos alimentarios importantes que puedan llevarse a cabo para que todo el colegio coma de manera saludable

### REVISIÓN DE LA TAXONOMÍA DE BLOOM (ANDERSON & KRATHWOHL, 2000)

CATEGORÍA	RECORDAR	COMPRENDER	APLICAR	ANALIZAR	EVALUAR	CREAR
<b>Descripción</b>	Reconocer y traer a la memoria información relevante de la memoria de largo plazo.	Habilidad de construir significado a partir de material educativo, como la lectura o las explicaciones del docente.	Aplicación de un proceso aprendido, ya sea en una situación familiar o en una nueva.	Descomponer el conocimiento en sus partes y pensar en cómo estas se relacionan con su estructura global.	Ubicada en la cúspide de la taxonomía original de 1956, evaluar es el quinto proceso en la edición revisada. Consta de comprobación y crítica.	Nuevo en esta taxonomía. Involucra reunir cosas y hacer algo nuevo. Para llevar a cabo tareas creadoras, los aprendices generan, planifican y producen.
<b>Verbos Indicadores de procesos cognitivos + Ejemplos</b>	<p><b>- reconocer</b> [Identifique las ranas dadas en un diagrama de diferentes tipos de anfibios. Encuentre un triángulo isósceles en su vecindario. Conteste cualquier pregunta de falso-verdadero o de selección.]</p> <p><b>- recordar</b> [Nombre tres autoras latinoamericanas del siglo XIX. Escriba las tablas de multiplicar. Reproduzca la fórmula química del tetracloruro de carbono.]</p> <p><b>- listar</b></p> <p><b>- describir</b></p> <p><b>- recuperar</b></p> <p><b>- denominar</b></p> <p><b>- localizar</b></p>	<p><b>- interpretar</b> [Traduzca el problema de un relato en una ecuación algebraica. Dibuje un diagrama del sistema digestivo.]</p> <p><b>- ejemplificar</b> [Dibuje un paralelogramo. Cite un ejemplo del estilo de escritura presente en una corriente de pensamiento dada. Nombre un mamífero que viva en nuestra área.]</p> <p><b>- clasificar</b> [Etiquete números pares o impares. Elabore una lista de los tipos de gobierno encontrados en las naciones de África moderna. Agrupe animales nativos en sus correspondientes especies.]</p> <p><b>- resumir</b> [Redacte un título para un pasaje corto. Elabore una lista de los puntos clave de un artículo dado.]</p> <p><b>- inferir</b> [Lea un diálogo entre dos personajes y extraiga conclusiones acerca de sus</p>	<p><b>- ejecutar</b> [Agregue una columna de números con dos dígitos. Oralmente, lea un pasaje en una lengua extranjera. Lance correctamente una bola de béisbol hacia el bateador]</p> <p><b>- implementar</b> [Diseñe un experimento para observar cómo crecen las plantas en distintos tipos de suelo. Corrija el texto de un escrito dado. Elabore un presupuesto.]</p> <p><b>- desempeñar</b></p> <p><b>- usar</b></p>	<p><b>- diferenciar</b> [Señale la información relevante en una igualdad matemática, y tache la información irrelevante. Dibuje un diagrama que muestre los personajes principales y secundarios de una novela.]</p> <p><b>- organizar</b> [Ubique los libros en la biblioteca de la escuela, ordenados en categorías. Haga un gráfico que ilustre los modos en que las plantas y los animales en su vecindario interactúan unos con otros]</p> <p><b>- atribuir</b> [Lea las cartas al editor de una publicación local, para encontrar puntos de vista de los lectores respecto a problemas locales. Determine la motivación de un personaje en una novela o cuento corto. Examine folletos propagandísticos de candidatos políticos, y plantee</p>	<p><b>- comprobar</b> [Participe en un grupo de redacción, y retroalimente a los compañeros en cuanto a la organización y lógica de los argumentos. Escuche un discurso político y anote las contradicciones que encuentre. Revise un plan de proyecto para verificar si se incluyeron todos los pasos necesarios.]</p> <p><b>- criticar</b> [Juzgue en qué medida un proyecto se ajusta a los criterios de una matriz de valoración. Escoja el mejor método para resolver un problema matemático complejo. Determine la validez de los argumentos a favor y en contra de la Astrología.]</p> <p><b>- revisar</b></p> <p><b>- formular</b></p> <p><b>- hipótesis</b></p> <p><b>- experimentar</b></p> <p><b>- juzgar</b></p> <p><b>- probar</b></p> <p><b>- detectar</b></p> <p><b>- monitorear.</b></p>	<p><b>- generar</b> [Con base en una lista de criterios, escriba algunas opciones para mejorar las relaciones interraciales en la escuela. Genere diversas hipótesis científicas para explicar por qué las plantas necesitan luz solar. Proponga un grupo de alternativas para reducir la dependencia de combustibles fósiles, que contemple tanto aspectos de interés económico como ambiental. Sugiera hipótesis alternativas, basadas en los criterios.]</p> <p><b>- planear</b> [Prepare fichas gráficas para una representación multimedia sobre insectos. Esboce un trabajo de investigación sobre el punto de vista de García Márquez con respecto a la religión. Diseñe un estudio</p>



		<p>relaciones pasadas. Averigüe el significado de un término no familiar presente en un artículo. Analice una serie numérica y prediga cuál será el próximo número.]</p> <p><b>- comparar</b> [Explique por qué el corazón se parece a una bomba. Escriba acerca de una de sus experiencias que se asemeje a la de los colonizadores de su región. Use un diagrama de Venn para demostrar cómo se asemejan y difieren dos libros de García Márquez.]</p> <p><b>- explicar</b> [Dibuje un diagrama que explique cómo la presión del aire afecta el clima. Proporcione detalles para justificar por qué aconteció la Revolución Francesa, cuándo y cómo sucedió. Describa cómo la tasa de interés afecta la economía.]</p> <p><b>- parafrasear</b> [Parafrasee un discurso de Simón Bolívar.]</p>		<p>hipótesis sobre sus perspectivas en relación con diferentes problemas.]</p> <p><b>- comparar</b> <b>- deconstruir</b> <b>- delinear</b> <b>- estructurar</b> <b>- integrar.</b></p>		<p>científico para probar el efecto de distintos tipos de música en la producción de huevos de gallina.]</p> <p><b>- producir</b> [Escriba un diario desde el punto de vista de un soldado. Construya un hábitat para las aves acuáticas locales. Monte una obra teatral basada en un capítulo de una novela que esté leyendo.]</p> <p><b>- diseñar</b> <b>- construir</b> <b>- idear</b> <b>- trazar</b> <b>- elaborar.</b></p>
--	--	---	--	--	--	--

# 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 Fensham<sup>1</sup>, 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 Council<sup>2</sup> “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](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.<sup>3</sup>, 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.<sup>4</sup>).

Finalmente, el área de la Investigación en Educación de la Matemática (MER) aparece como más débil frente a las anteriores (Burkhardt<sup>5</sup>, Friedet al<sup>6</sup>). 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 tema<sup>7</sup>

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 2008<sup>8</sup>). 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 2008<sup>8</sup> (HDM 2008) y en la HDM 2009<sup>9</sup> 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 Kendall<sup>76</sup>), a aplicarla a una unidad curricular concreta de física, así creando la Taxonomía de Problemas de Introducción a la Física<sup>75</sup>, 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.<sup>76</sup>).

## 2 Unidades curriculares críticas

Un antecedente está en el documento de Piedra-Cueva<sup>10</sup>. 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 Kiss<sup>11</sup>) 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 Initiatives<sup>12</sup>:

- 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 Initiatives<sup>12</sup> 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 Coelho<sup>13</sup> 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.<sup>14</sup>, Bransford et al.<sup>15</sup>]. Se ha identificado una abundancia de conceptos erróneos en una amplia gama de temas de física<sup>16</sup> en la física para estudiantes universitarios (para un examen de los últimos años anteriores al 2000, véase la referencia McDermott et al.<sup>17</sup>). 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.<sup>18</sup>:

- 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.<sup>19</sup>) 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 el tema “comprensión conceptual”, como se puede ver en las referencias de los artículos ya señalados en esta Sección. Por ejemplo, en Liu et al.<sup>20</sup> 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.<sup>17</sup> 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](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-](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 al.<sup>21</sup>, donde se examina las respuestas al test Force Concept Inventory<sup>22</sup> 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 Física<sup>23</sup>. ‘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 Montana<sup>24</sup>, citando como referencias a Halloun & Hestenes<sup>25</sup>, Gunstone<sup>26</sup> y Aguirre<sup>27</sup>.

‘Confusión entre aceleración y velocidad’: este concepto erróneo se identifica de nuevo en la lista del Instituto Americano de Física<sup>23</sup> y también, con una formulación ligeramente diferente, por Trowbridge & McDermott<sup>28</sup>.

‘Los objetos grandes ejercen una fuerza mayor que los pequeños’: este concepto erróneo también aparece en la lista del Instituto Americano de Física<sup>23</sup>. 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, 116-1 20 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.<sup>55</sup>). 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](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](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](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 Montana<sup>24</sup>, y la referencia se atribuye, de nuevo, a Halloun y Hestenes<sup>85</sup>.

‘Confusión entre velocidad y posición del objeto’: este concepto erróneo también se identifica en la lista de la Universidad de Montana<sup>24</sup>, y la referencia se atribuye a McDermott & al.<sup>29</sup>.

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 Montana<sup>24</sup>, y viene de Halloun y Hestenes<sup>86</sup> y también de Caramazza & al.<sup>30</sup>.

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, Redish<sup>31</sup> 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 [Arons<sup>32</sup>, Trowbridge et al.<sup>33</sup>, Halloun et al.<sup>34</sup>, Thornton et al.<sup>35</sup>, McDermott<sup>36</sup>]. 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](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](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 Heuvelen<sup>37</sup> 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 2008<sup>8</sup>, 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 orden<sup>38</sup>. 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](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](http://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.pdf](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.pdf)
- 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.<sup>39</sup>, Rebello et al.<sup>40</sup>, y Erfanet al.<sup>41</sup> 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.<sup>42</sup> 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.<sup>42</sup> 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.stkipsingkawang.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 Jonassen<sup>43</sup>:

“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 verbales<sup>44</sup>’. 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 (Sherrill<sup>45</sup>). 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.<sup>46</sup>, Gick et al.<sup>47</sup>, Ross<sup>48</sup>, Ross<sup>49</sup>). 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](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.<sup>50</sup>). 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.<sup>51</sup>). Ploetzner et al.<sup>52</sup> 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 Coller<sup>53</sup> 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%253Aadfbc32c9ecec48f7bc237d181aeb96&is\\_image=False](https://www-jstor-org.proxy.timbo.org.uy/tc/accept?origin=%2Fstable%2Fpdf%2F3233609.pdf%3Fab_segments%3D0%252Fbasic_SYC-5152%252Ftest%26refreqid%3Dsearch%253Aadfbc32c9ecec48f7bc237d181aeb96&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](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, Coller 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,<sup>42</sup> 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 Mazur<sup>54</sup> 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.<sup>34</sup> y Halloun et al.<sup>25</sup>, 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 pensaran 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 Inventory<sup>55</sup> 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-Share<sup>56</sup>, no muy diferente de la pedagogía de instrucción de pares de Mazur<sup>54</sup>. 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](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,<sup>57</sup> 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 pasa<sup>58</sup>. 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’<sup>59</sup> 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](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 Hammer<sup>60</sup>) 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.”

Redish<sup>61</sup> 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](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 Elby<sup>57</sup> 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 Hammer<sup>62</sup> 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 2008<sup>8</sup> (hay consideraciones análogas en la HDM 2009<sup>9</sup>) 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**<sup>63</sup>. 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 exigencias 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**<sup>63</sup>.” 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 McDermott<sup>64</sup> 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.<sup>65</sup> se encuentra un resumen sobre una posible clasificación en tres paradigmas de enseñanza:

“Farnham-Diggory<sup>66</sup> 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](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.<sup>65</sup> 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.<sup>3</sup>, 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.<sup>65</sup>]. 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 correcto<sup>67</sup>, como sí a los estudiantes que desarrollaran un razonamiento incorrecto que condujera a un resultado numérico correcto [Henderson et al.<sup>68</sup>].”

---

67 Nota del suscrito: según Henderson et al.<sup>68</sup>, 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 mostrarán 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](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.<sup>69</sup>. 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 Buick<sup>70</sup>.

En su artículo, Buick examina algunas Taxonomías (la SOLO de Biggs<sup>71</sup>, la de Bloom<sup>72</sup>, la Mathematical Assessment Task Hierarchy (MATH) de Smith et al.<sup>73</sup>, ver también Wood et al.<sup>74</sup>). 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](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/0f317534c8c1c1ace1000000/The-Secondary-tertiary-Interface.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Leigh_Wood/publication/226328009_The_Secondary-tertiary_Interface/links/0f317534c8c1c1ace1000000/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.<sup>75</sup>, 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 Educativos<sup>76</sup>” de Marzano y Kendall, por lo que comenzaremos considerando esta última taxonomía.

### 6.2.1 Nueva Taxonomía de Objetivos Educativos (NTEO)<sup>76</sup>

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.<sup>76</sup>, 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.<sup>76</sup>):

- 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 detalle<sup>77</sup>. 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 al<sup>76</sup>.

		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 cognitivos<sup>78</sup>, también es posible encontrar verbos asociados a los procesos del sistema cognitivo en la nueva taxonomía de Marzano, ver por ejemplo p. 32 de Mitchell<sup>79</sup>. El libro de Marzano et al.<sup>76</sup> 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.<sup>75</sup> 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 [Beatty<sup>80</sup>, Ross<sup>81</sup>, Tuminaro et al.<sup>82</sup>] identificaron como relevantes para la resolución de problemas de física.
2. Buscamos entre las taxonomías de los objetivos educativos [Bloom<sup>72</sup>, Anderson et al.<sup>83</sup>, Haladyna<sup>84</sup>, Hannah et al.<sup>85</sup>, Biggs et al.<sup>71</sup>, Marzano et al.<sup>76</sup>] 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.<sup>86</sup>, Adams et al.<sup>87</sup>, Redish et al.<sup>88</sup>, Elby<sup>89</sup>].”.

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. Raths, 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://umdb.org/pbworks.com/w/file/fetch/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 (Beatty<sup>80</sup>) y enfoques que los estudiantes deberían seguir al resolver problemas (Tuminaro et al.<sup>82</sup>) y a partir de ellos se hizo una correspondencia con los niveles del proceso cognitivo (ver tablas II y III de Teodorescu et al.<sup>75</sup>).

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 NTEO<sup>90</sup> 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.<sup>75</sup>, 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 testada 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.

<sup>90</sup> 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 preconcepciones 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 tema<sup>7</sup> (aunque tangencialmente, en el artículo mencionado de Poutot et al<sup>21</sup> 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 Tallerine 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 2008<sup>8</sup> como la 2009<sup>9</sup> señalan que es posible avanzar sustancialmente en la carrera sin necesariamente hacer aprendizajes significativos. Por ejemplo, en la HDM 2008<sup>8</sup> 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 carrera<sup>91</sup> utilizando esencialmente los sistemas de pensamiento inferiores (específicamente, recordación) tanto en los dominios de conocimiento de la información como de los procedimientos mentales<sup>92</sup>.

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.<sup>76</sup>)**

### **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 al<sup>76</sup>) 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.

Montevideo, 3 de diciembre de 2020

Sr. Presidente  
Asamblea del Claustro de Facultad de Ingeniería  
Prof. Marcelo Fiori

En respuesta a vuestra nota fechada en septiembre de este año respecto de los distribuidos 70, 62 y 63/2018-2020, la Comisión de Carrera de Ingeniería Eléctrica (CCIE) le manifiesta lo siguiente.

Los documentos fueron considerados en las sesiones de la CCIE de fechas 3.11, 17.11 y 1.12, además de haber asistido a la invitación que nos hizo la CC de Ingeniería de Sistemas de Comunicación que recibió al Presidente y Vicepresidente de la Asamblea del Claustro.

Entendemos que estos documentos son un aporte muy valioso que por cierto servirán de referencia para lo que entendemos debe ser un proceso de discusión y reflexión en la Facultad de Ingeniería sobre los objetivos del proceso de enseñanza-aprendizaje a nivel de unidades curriculares (u.u.c.c.) y de carreras. Las herramientas conceptuales presentadas en los documentos han sido y son objeto de investigación a nivel internacional en procesos educativos de Ingeniería y forman parte, corrientemente, de las prácticas recomendadas en universidades prestigiosas a nivel internacional.

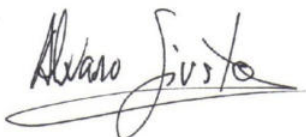
Creemos que para sacar provecho del empleo de esas herramientas conceptuales y de gestión académica en las carreras de la Facultad y particularmente en Ing. Eléctrica se debe dar un proceso de inclusión:

- ⌚ divulgación y discusión de los conceptos fundamentales;
- ⌚ elaboración de una síntesis de esos conceptos y herramientas para ser aplicadas a nuestras carreras;
- ⌚ definición política de las autoridades de Facultad definiendo objetivos, plazos, responsables y recursos para llevar adelante el proceso de adopción del nuevo paradigma de especificación y gestión de objetivos de enseñanza-aprendizaje.

Como un primer paso en la dirección sugerida, esta Comisión de Carrera está divulgando entre los actores de nuestra carrera los documentos aportados por el Claustro y comprometemos nuestra participación en las instancias que en tal sentido se dispongan a nivel de Facultad.

Agradecemos vuestro aporte y les saludamos cordialmente.

*Sesión de Comisión de Carrera de Ingeniería Eléctrica de fecha 01/12/20 estando presentes: el Director de Carrera: Ing. Álvaro Giusto; por el Orden Docente: Ings. Ignacio Irigaray, Isabel Briozzo y Ricardo Marotti; y por el Orden Estudiantil: Br. Daniel Cardozo. Se aprueba 5 en 5.*



Ing. Alvaro Giusto



Por el Orden Estudiantil  
Daniel Cardozo



	<b>Expediente Nro. 060180-500813-20</b> <b>Actuación 2</b>	Oficina: COMISIONES - INGENIERIA Fecha Recibido: 21/12/2020 Estado: Para Actuar
--	---	--

**TEXTO**