

UNA EXPERIENCIA EDUCATIVA EN “BIOMECAÁNICA” PARA LA GENERACIÓN DE NUEVAS COMPETENCIAS EN BIOINGENIERÍA

Carina del Valle Herrera, Departamento de Electrónica y Automática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), cherrera@gateme.unsj.edu.ar

Silvia Elizabeth Rodrigo, Departamento de Electrónica y Automática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), srodrigo@gateme.unsj.edu.ar

Resumen— Enmarcada en el Paradigma de la Educación Basada en Competencias, la estrategia metodológica Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) constituye una valiosa herramienta para promover un aprendizaje significativo y funcional por parte del estudiante universitario. Mediante esta estrategia y sustentada en el tipo de formación práctica para las carreras de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería denominado *Resolución de Problemas de Ingeniería*, en este trabajo se presenta una experiencia educativa efectuada en la asignatura “Biomecánica”, correspondiente al 5° semestre de la carrera de Bioingeniería de la UNSJ. Tal experiencia intenta propiciar en el alumno el desarrollo y logro de competencias relacionadas con la *Biomecánica de Impacto o Biomecánica de Lesión*, definida como la ciencia que estudia el efecto de las cargas mecánicas de impacto sobre los tejidos biológicos. Se describe la metodología empleada para este proceso de enseñanza-aprendizaje en “Biomecánica”, su implementación desde el año 2015 y se analiza el rol del ABP en la formación del Bioingeniero, con el propósito de contribuir a la generación de nuevas Actividades Profesionales reservadas al Título de Ingeniero Biomédico y Bioingeniero, no contempladas explícitamente en la Resolución Ministerial N° 1603-04.

Palabras clave— *educación basada en competencias, biomecánica de impacto, actividades profesionales.*

1. Introducción

El Paradigma de la Educación basada en Competencias se fundamenta en una concepción constructivista del conocimiento, orientado a su integración y aplicación. Para lograr esto, el proceso de enseñanza-aprendizaje se apoya en estrategias metodológicas, tales como el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), cimentado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición de nuevos conocimientos [1, 2]. Desde que fue propuesta en la Escuela de Medicina de la Universidad de McMaster (Canadá), tal estrategia ha ido evolucionando y adaptándose a las necesidades de las diferentes áreas en las que se emplea, lo cual implicó diversas modificaciones respecto de la propuesta original [3].

El propósito del ABP es promover la participación activa del estudiante para que logre un aprendizaje significativo y funcional [1-3]. Mediante esta estrategia, el aprendizaje de contenidos teóricos toma la misma importancia que la adquisición de habilidades y actitudes, propiciando así la integración de conocimientos vinculados con el saber conocer, saber actuar y saber ser. En este contexto, se describe aquí una experiencia educativa implementada en la cátedra “Biomecánica” de la carrera de Bioingeniería de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) –correspondiente al área de Tecnologías Básicas y dictada en el 5° semestre–, de acuerdo a su Plan de Estudios 2014.

El objetivo general de tal asignatura es proporcionar al alumno sólidos conocimientos teórico – prácticos especializados, que lo capaciten para comprender la mecánica de los fenómenos fisiológicos y fisiopatológicos del sistema motor humano, con el propósito de aplicarla a la solución de problemas de salud relacionados con esta área de la Bioingeniería. Para alcanzar este objetivo, la cátedra “Biomecánica” integra contenidos relacionados con: a) mecánica de cuerpos rígidos y análisis de las posturas y el movimiento corporal humano normal y patológico y b) mecánica de cuerpos deformables y análisis del comportamiento mecánico de los tejidos biológicos frente a fuerzas de impacto.

Tal integración responde al tipo de formación práctica para las carreras de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería denominado *Resolución de Problemas de Ingeniería*, definido en la en la Resolución Ministerial N° 1603-04 (RM 1603-04) [4]. Al respecto, en dicha resolución se describe a esta modalidad de formación práctica como: “*aquellas situaciones reales o hipotéticas cuya solución requiera la aplicación de los conocimientos de las ciencias básicas y de las tecnologías*” [4]. Dicha resolución recomienda también que: “*todo programa debe incluir al menos en las tecnologías básicas y aplicadas 150 horas para esta actividad y constituye la base formativa para que el alumno adquiera las habilidades para encarar diseños y proyectos*” [4].

Específicamente en este trabajo se describe una experiencia educativa realizada en “Biomecánica”, en donde se desarrolla la temática de *Biomecánica de Impacto* o *Biomecánica de Lesión*, definida como la ciencia que estudia el efecto de las cargas mecánicas de impacto –tales como las provenientes de accidentes de tránsito– sobre los tejidos biológicos [5]. En las secciones siguientes se describe la metodología empleada para este proceso de enseñanza-aprendizaje en “Biomecánica”, su implementación desde el año 2015 y se analiza el rol del ABP en la formación profesional del Bioingeniero, mediante la integración de conocimientos vinculados con el saber conocer, saber actuar y saber ser.

2. Materiales y Métodos

La metodología descrita en esta sección está subdividida en dos partes. Por un lado, se hace referencia a la base conceptual requerida para abordar la temática de la Biomecánica de Impacto y por otro, se detalla el procedimiento seguido durante el proceso de enseñanza-aprendizaje de esta temática en la asignatura “Biomecánica”.

2.1 Fundamentos de la disciplina

La Biomecánica de Impacto es una disciplina de vanguardia, con un adelanto significativo en países de Europa y de América del Norte. Sus aplicaciones típicas se relacionan con el diseño y desarrollo de, por ejemplo: modelos matemáticos del cuerpo humano utilizados para simular computacionalmente las condiciones de impacto [5] o bien, modelos mecánicos instrumentados (en inglés, *dummies*) empleados en ensayos de choque (*crash test*) para evaluar globalmente la seguridad pasiva del automóvil y verificar la protección de su estructura [6]. Una aplicación adicional está referida a peritaje en accidentes de tránsito [7]. Entre los principales objetivos de esta disciplina figuran:

- Desarrollar formas de reducir o eliminar el daño estructural o funcional del cuerpo humano, que puede ocurrir como consecuencia del impacto.
- Identificar y definir los mecanismos de lesión por impacto.

- Cuantificar la respuesta de los tejidos y sistemas biológicos en un rango de condiciones de impacto.
- Determinar el nivel de respuesta (tolerancia o umbral) para el cual la recuperación de los tejidos es irreversible.

Para cumplimentar el primer objetivo, los países más desarrollados han desarrollado programas basados en la evaluación en condiciones de laboratorio de los efectos de fuerzas de impacto sobre las estructuras del vehículo y sobre los *dummies*, que simulan a sus ocupantes humanos. Así por ejemplo, la EuroNCAP (*European New Car Assessment Programme* o Programa Europeo de Evaluación de Automóviles Nuevos) es un programa de seguridad apoyado por varios gobiernos europeos, empresas automotrices y organizaciones mundiales relacionadas con este sector [8, 9].

El objetivo de este programa es realizar pruebas de seguridad pasiva en automóviles nuevos, entregando una clasificación en estrellas basada en el comportamiento del automóvil en pruebas de impacto frontal, lateral y posterior. El propósito es proporcionar una evaluación justa, significativa y objetiva del impacto, de tal manera de determinar las condiciones de seguridad de los automóviles [8-9].

Los valores ficticios obtenidos a partir de los *dummies* para diferentes regiones del cuerpo durante cada prueba de colisión determinan los puntajes de seguridad que recibe el vehículo. Estos puntajes, combinados con otras características del comportamiento del vehículo durante el impacto, determinan un puntaje total de seguridad general del vehículo [8-9]. Además, en los últimos años se ha incorporado una prueba de medición de seguridad de niños a bordo, así como de peatones en caso de atropello [8-9].

Por su parte, los demás objetivos planteados para la Biomecánica de Impacto pueden unificarse para estimar la gravedad de una lesión por efecto de una fuerza de impacto. Para este fin se han desarrollado funciones de parámetros físicos medibles durante las pruebas de impacto en condiciones de laboratorio, que estiman, a partir del uso de *dummies*, la probabilidad de lesión de una estructura anatómica. Esta función es denominada *criterio biomecánico* o criterio de lesión (*injury criterion*) [5, 10].

Existen distintos criterios de lesión basados en la correlación de parámetros físicos medidos con la gravedad de la lesión que puede producirse en una región determinada del cuerpo, sometida a un impacto. Los parámetros físicos más frecuentemente empleados son aquellos que pueden medirse con cierta facilidad (tales como aceleraciones, gradientes de velocidad, fuerzas, momentos y deflexiones) durante pruebas realizadas con modelos matemáticos o mecánicos del cuerpo humano [5, 8-10].

Además, para cada criterio se definen también niveles de tolerancia, que corresponden al valor máximo de un parámetro dado, a partir del cual se produce una lesión [5, 10]. Por ejemplo, la Escala Abreviada de Lesión (*Abbreviated Injury Scale, AIS*) es un sistema de codificación basado en la anatomía, creado por la Asociación para el Avance de la Medicina Automotriz. La *AIS* original está dividida en cinco partes para describir y clasificar la gravedad de la lesión en distintas estructuras corporales [5, 10, 11]. En lugar de evaluar la severidad de la lesión, el *AIS* proporciona un valor estadístico que representa la probabilidad de amenaza a la vida que ocasionaría la lesión producida.

Esta primera versión de la escala *AIS* que se publicó en 1969, ha tenido actualizaciones importantes hasta la última versión en 2015 [5, 10-11]. En la Tabla 1 se representa la relación entre el valor de *AIS* y la probabilidad de daño para distintas estructuras del cuerpo humano.

Tabla 1: Relación entre AIS y probabilidad de daño en distintas estructuras corporales [5].

AIS	Cabeza	Tórax	Abdomen y contenido pélvico	Columna Vertebral	Extremidades y pelvis ósea
1	dolor de cabeza y mareos	Fractura simple de costilla	Pared abdominal: laceración superficial	Deformación aguda (sin fractura o dislocación)	Fractura de un dedo
2	Inconsciente menos de 1 hora: fractura lineal	2-3 costillas fracturadas: fractura del esternón	Bazo, riñón o hígado: laceración o contusión	Fractura menor sin afección de la columna	Tibia, pelvis o rótula: fractura simple
3	Inconsciente 1 -6 horas: fractura con hundimiento	≥4 costillas fracturadas; 2-3 costillas fracturadas con hemotórax o neumotórax	Bazo o riñón: mayor laceración	Ruptura de disco con daño de la raíz nerviosa	Dislocación de rodilla; fractura de fémur
4	Inconsciente 6-24 horas: fractura abierta	≥4 costillas fracturadas con hemotorax o neumotorax ; torax inestable	Hígado: mayor laceración	Síndrome de médula incompleta	Amputación o aplastamiento por encima de la rodilla, aplastamiento de la pelvis (cerrado)
5	Inconsciente más de 24 horas. Hematoma grande (100 cc)	Laceración de aorta (transección parcial)	Riñón, hígado o ruptura de colón	Cuadriplejia	Aplastamiento de la pelvis (abierto)

Además, la escala permite estimar el porcentaje de fatalidad y los costos de atención médica asociados a su valor, tal como se representa en la Tabla 2 [5].

Tabla 2: Comparación entre el valor de AIS, tasa de fatalidad y costos de atención médica [5].

AIS	Código de Severidad	Tasa de Fatalidad	Costo Económico (x \$1000)
0	Sin año	-----	----
1	Daño menor	0.0	0.4
2	Moderado	0.1-0.4	2.7
3	Serio	0.8-2.1	7.1
4	severo	7.9-10.6	38.8
5	Crítico	53.1-58.4	186.6
6	Máximo daño	-----	165.0
9	Desconocido	-----	----

En la versión 2015 de la escala AIS, el puntaje describe tres aspectos de la lesión: tipo, ubicación y gravedad. Para esto se utilizan 7 números escritos como: 12 (34) (56) 7, en donde cada número significa: 1- región del cuerpo; 2- tipo de estructura anatómica; 3 y 4-estructura anatómica específica; 5 y 6- nivel; 7- gravedad del puntaje. Mayores detalles pueden consultarse en [10-11].

A modo de ejemplo de la manera en que se evalúa la seguridad de los vehículos y de sus ocupantes mediante los protocolos de la EuroNCAP, las medidas de lesión obtenidas durante un ensayo de colisión con un *dummy Hybrid III* para el percentil 50 –ubicado en el asiento del conductor– se han utilizado para determinar la probabilidad de que un ocupante en este sitio sufra lesiones significativas en varias regiones del cuerpo. Entre las 32 variables registradas en este ensayo, figuran [10-11]:

- aceleración de la cabeza y velocidad angular (en las tres direcciones del espacio y desde el centro de gravedad de la cabeza),
- fuerza axial, fuerza antero-posterior, fuerza medial-lateral y momento de flexión anterior-posterior actuando en la conexión entre la cabeza y el cuello del *dummy*,
- aceleración de la columna torácica (en las tres direcciones),
- compresión del esternón,
- fuerza axial del fémur (para cada extremidad inferior),
- desplazamiento tibia-fémur (para cada extremidad inferior),
- momentos de flexión transversal de la tibia (superior e inferior, para cada extremidad inferior),
- fuerza axial de la tibia (para cada extremidad inferior),
- aceleración del pie (en dos direcciones, para cada pie).

Las 32 mediciones efectuadas se agrupan en cuatro regiones corporales: cabeza y cuello, tórax, extremidad inferior izquierda, y extremidad inferior derecha. Asimismo, se utilizan cuatro parámetros de lesión para evaluar la protección para la cabeza y el cuello, tres parámetros para el tórax y seis parámetros para cada pierna y pie. Posteriormente se realizó una correlación empleando la AIS y los criterios de lesión en que se basa la EuroNCAP. De acuerdo con esto, cada región del cuerpo recibe una calificación de protección de lesión de buena, aceptable, marginal o deficiente en función de los parámetros de lesión para esa región [10-11].

Para que cualquier región del cuerpo reciba una calificación buena (en el sentido de un bajo riesgo de lesión), los puntajes de todos los parámetros en esa región deben indicar buenos resultados. Si algún parámetro indica un resultado aceptable, entonces la calificación para esa región del cuerpo es aceptable. En contraste, si algún parámetro tiene un resultado marginal o deficiente, entonces la calificación para esa región del cuerpo será marginal o deficiente. Por lo tanto, la calificación general de lesión para cualquier región del cuerpo es la calificación más baja obtenida para un parámetro de lesión dentro de esa región [10-11].

En particular, el criterio de lesión *HIC* para la cabeza (*head injury criteria*) se utiliza para identificar la parte más perjudicial del pulso de aceleración, encontrando el máximo valor a partir de la siguiente expresión [5, 10-11]:

$$HIC = (t_2 - t_1) \left[(t_2 - t_1)^{-1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} \Bigg|_{m\acute{a}x} \quad (1)$$

donde $a(t)$ es la aceleración instantánea resultante de la cabeza, y t_2-t_1 es el intervalo de tiempo en el cual existe un pico de aceleración de al menos 3 ms [5, 10-11].

El *HIC* se usa como un indicador tanto para las fracturas en la cabeza, como para determinar el daño en el cerebro y resulta útil para predecir con cierta efectividad los traumatismos craneoencefálicos. Actualmente es el único criterio biomecánico relativo al traumatismo craneoencefálico aceptado por la comunidad científica, así como el único indicador que la industria automovilística mundial utiliza para cumplir la normativa de nuevos vehículos, en cuanto a tolerancia máxima admisible de los efectos del impacto sobre la cabeza de los *dummies* [8-9]. Además, el *HIC* evalúa el riesgo de lesión encefálica *NIC* (*brain injury criterion*) cuando el intervalo de aplicación del pulso de aceleración tiene un valor límite de 15 ms [5, 10-11].

2.2 Propuesta de enseñanza de la disciplina en “Biomecánica”

Utilizando la base conceptual referida en el ítem anterior, la planificación en “Biomecánica” (Plan 2014) de los contenidos sobre Biomecánica de Impacto prevé desarrollar la temática a través de clases teóricas y clases prácticas. Para esto se ha recurrido a la estrategia metodológica del ABP [1-3], con el fin de promover un aprendizaje significativo y funcional por parte de los alumnos de la carrera de Bioingeniería de la UNSJ. Para lograr este fin, el proceso de enseñanza-aprendizaje de Biomecánica de Impacto está basado en el análisis de los procedimientos de ensayos de choque y pruebas de seguridad que realiza la EuroNCAP [8-9]. Además, dada la amplitud de la temática de la Biomecánica de Impacto, el abordaje de estos contenidos en “Biomecánica” se focaliza en el análisis de lesión por impacto en la cabeza.

En este contexto, para desarrollar esta temática, en primer lugar se presentan en las clases teóricas los principios fundamentales de la Biomecánica de Lesión, entre los cuales figuran los citados en el ítem anterior de este trabajo. En segundo lugar, se analiza detalladamente la información contenida en las planillas de la EuroNCAP, observando particularmente cómo se emplean los datos referidos a la aceleración, los cambios de velocidad, las fuerzas y momentos que actúan en cada uno de los segmentos del *dummy*. Precisamente estos parámetros son los que se utilizan para definir los criterios de lesión, entre los cuales figuran el *HIC* (*head injury criterion*) para la cabeza, el *NIC* (*neck injury criterion*) para el cuello y dentro de éste, el N_{ij} para el análisis del cuello en un impacto frontal [10-11].

En tercer lugar, a través de las clases prácticas, se plantea a los alumnos una práctica de gabinete (PG4), cuyos objetivos son:

- Aplicar los conocimientos de la biomecánica de lesión o de impacto, al análisis de la lesión cráneo-encefálica por efecto de una colisión frontal.
- Interpretar los resultados obtenidos a partir de algunos de los criterios de lesión que se utilizan habitualmente para este tipo de análisis.

Para realizar esta actividad, se entrega a los alumnos una guía, en donde se detalla el procedimiento a seguir para calcular y analizar (a partir de datos obtenidos mediante simulación computacional) la probabilidad de lesión en un ocupante de un vehículo que: a) utiliza cinturón de seguridad y b) no utiliza cinturón de seguridad. Aplicando este procedimiento, los alumnos calculan y grafican la aceleración en función del tiempo para ambas simulaciones (es decir, con y sin cinturón), determinando además el intervalo de tiempo para el cual se producen los picos máximos de aceleración en ambos

casos. Luego analizan estos resultados a partir de lo visto en las clases teóricas, representando gráficamente la relación inversa entre aceleración y tiempo de aplicación en un impacto frontal, establecida por la Curva de Tolerancia de Wayne (WTSC) [5]. Se calcula también el valor de *HIC* [10-11] de la cabeza para las dos simulaciones. Finalmente, los alumnos analizan los valores obtenidos en el contexto de las planillas de la EuroNCAP [8-9], obteniendo sus propias conclusiones sobre el trabajo efectuado.

En la sección siguiente se analiza la manera en que la incorporación de la técnica de ABP en la planificación de asignaturas propias del Área de Tecnologías Básicas, puede contribuir al desarrollo y adquisición de competencias potencialmente útiles para el futuro desempeño profesional de estudiantes de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería.

3. Implementación de la Experiencia Educativa

Aplicando la metodología previamente descrita, los alumnos de la cátedra “Biomecánica” han calculado y analizado –a través de la PG4 y a partir de datos obtenidos mediante simulación computacional–, la probabilidad de lesión en un ocupante de un vehículo que no utiliza cinturón de seguridad. Tal análisis permite interpretar los resultados y contrastarlos con los de las planillas de la EuroNCAP [8-11], a fin de que los alumnos puedan comprender la manera en que se realiza este tipo de ensayo de colisión en automóviles nuevos y sus efectos sobre los ocupantes.

Asimismo, para evaluar las actividades comprendidas en la PG4, se parte de la premisa que la evaluación conlleva un proceso compuesto por tres etapas: a) recolección de información a través de un instrumento de evaluación, b) análisis de tal información por parte del docente y c) juicio para establecer si el aprendizaje del alumno es un reflejo del conocimiento y del desempeño que se espera que logre para cada tema evaluado. En base a estas etapas, la cátedra ha implementado un instrumento de evaluación compuesto [12], que consiste en:

- una evaluación de tipo sumativa y referida a la norma, para valorar si el alumno ha aprendido los contenidos conceptuales básicos relacionados con la temática sobre ortoprotésica abordada y,
- una evaluación de tipo formativa y referida al criterio que se espera que el alumno pueda desarrollar para adquirir e integrar conocimientos y habilidades que propicien el logro de las competencias generales y específicas planteadas para cada temática.

En particular, para implementar este segundo tipo de evaluación, inicialmente se plantea a los alumnos la resolución de un problema en base a las planillas de la EuroNCAP [8-9], de tal modo que puedan comprender la manera en que se aborda este instrumentado de valoración de la respuesta de los vehículos frente a un impacto y de la seguridad que otorga a sus ocupantes. Se indica también a los alumnos, divididos en grupos de hasta 3, los documentos de referencia para la búsqueda de información. Asimismo, en los grupos de alumnos formados para elaborar esta actividad, se promueve no sólo la adquisición e integración de contenidos conceptuales y procedimentales, sino también el desarrollo de contenidos actitudinales, tales como hábitos de colaboración, comunicación y trabajo en equipo entre ellos.

Finalmente, para aprobar esta actividad, cada grupo presenta un informe escrito sobre la solución encontrada y realiza una puesta en común con los integrantes de la cátedra y con el resto de los estudiantes, lo cual permite visualizar la participación individual en la búsqueda de la solución del pequeño problema planteado.

4. Resultados

A modo de ejemplo, en la Figura 1 se muestra los resultados obtenidos a partir del cálculo de la aceleración en función del tiempo para las dos situaciones de simulación analizadas. Por su parte, en la Figura 2 se visualiza la curva de probabilidad de riesgo de lesión, obtenida a partir de los cálculos efectuados en la PG4.

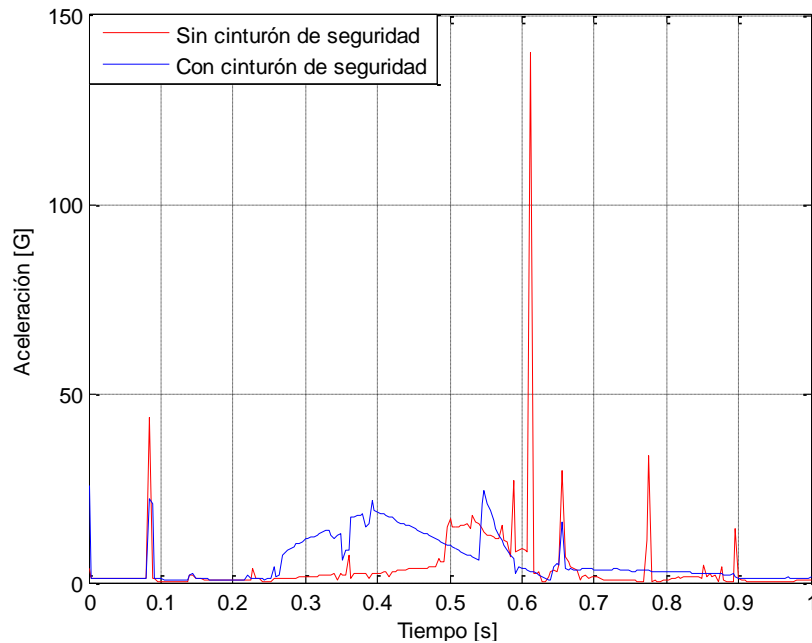


Figura 1. Curvas de aceleración lineal de la cabeza para las dos situaciones simuladas.

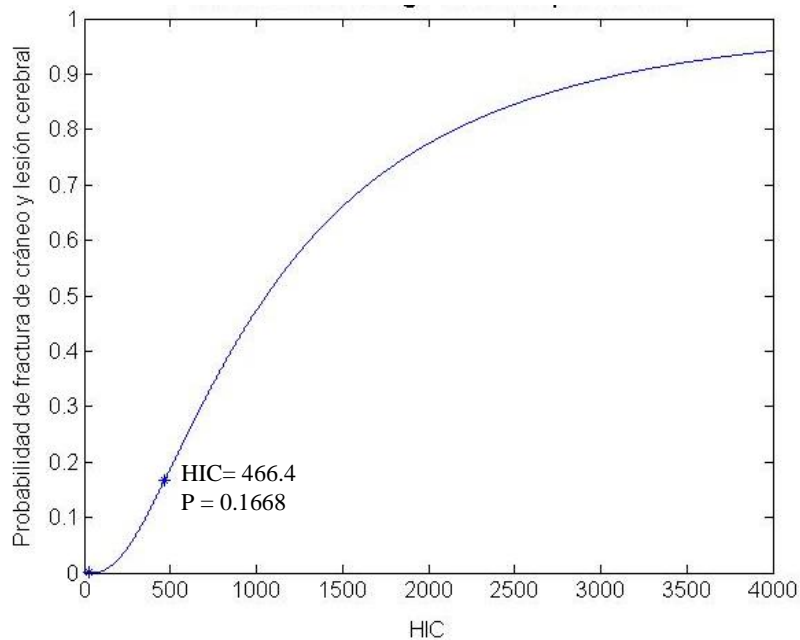


Figura 2. Curva de probabilidad de riesgo de lesión en función del *HIC*.

Seguidamente se analiza la manera en que la incorporación de la técnica de ABP en la planificación de asignaturas propias del Área de Tecnologías Básicas, puede contribuir al desarrollo y adquisición de competencias potencialmente útiles para el futuro desempeño profesional de estudiantes de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería.

5. Rol del ABP en la Formación Profesional otorgada por “Biomecánica”

Una característica distintiva de la técnica ABP es que el aprendizaje está centrado en el estudiante, promoviendo que tal aprendizaje sea significativo, además de desarrollar una serie de habilidades y competencias indispensables en el entorno profesional actual [12, 13]. El proceso se desenvuelve en base a grupos pequeños de trabajo, que aprenden de manera colaborativa a resolver un problema inicial, complejo y retador, planteado por el docente, con el fin de desencadenar el aprendizaje auto-dirigido de sus alumnos.

Según esta concepción, el rol del profesor se convierte en el de un facilitador del aprendizaje, en lugar de ser sólo un transmisor de conocimientos a través de clases expositivas, que constituyen una modalidad de enseñanza normalmente focalizada hacia los contenidos, priorizando los conceptos abstractos sobre los ejemplos concretos y las aplicaciones [14, 15]. En este caso, las técnicas de evaluación se limitan a comprobar la memorización de información y de hechos, ocupándose muy rara vez de desafiar al estudiante a alcanzar niveles cognitivos de comprensión más altos.

Bajo esta perspectiva, tanto profesores como alumnos refuerzan la idea de que en el proceso de enseñanza – aprendizaje, el profesor es el responsable de transferir contenidos y los estudiantes son receptores pasivos del conocimiento. De esta manera, la enseñanza tradicional muy difícilmente contribuye a la adquisición por parte del estudiante, de habilidades, capacidades y competencias genéricas y específicas de su especialidad [1-3, 12-15].

Es evidente entonces la necesidad de cambio en la concepción del proceso de enseñanza - aprendizaje, sin que esto signifique que la clase expositiva deje de ser eficiente. Se trata simplemente de complementar la adquisición por parte de los alumnos de contenidos teóricos transmitidos por el docente, con el desarrollo de habilidades y capacidades (contenidos procedimentales), así como conductas (contenidos actitudinales), entre las cuales figuran:

- Habilidad de lograr un alto nivel en comunicación, manejo tecnológico y búsqueda de información, que permitan al individuo obtener y aplicar los nuevos conocimientos y habilidades cuando se requiera.
- Capacidad para llegar a juicios y conclusiones sustentadas, lo cual significa definir efectivamente los problemas, recolectar y evaluar la información relativa a esos problemas y desarrollar soluciones.
- Capacidad de funcionar en una comunidad global a través de una respuesta personal basada en actitudes y disposiciones que incluyen: flexibilidad y adaptabilidad; valoración de la diversidad; motivación y persistencia; conducta ética y ciudadana; creatividad e ingenio; capacidad para trabajar con otros, especialmente en equipo.
- Competencia técnica en un campo determinado.
- Demostrada capacidad para desplegar todas las características anteriores con el fin de enfrentar problemas específicos en situaciones reales y complejas, en los que se requiera desarrollar soluciones viables.

Específicamente, en la asignatura “Biomecánica”, a través de la planificación de la PG4, se propone el tipo de formación práctica denominado *Resolución de Problemas de Ingeniería* (RM 1603-04) [4], que permite integrar contenidos sobre la temática de

Biomecánica de Impacto, considerando que los futuros profesionales de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería deberán enfrentar desafíos que cruzan las fronteras de las disciplinas y demandan enfoques innovadores y el logro de competencias para la resolución de problemas complejos. Tal es el caso de las aplicaciones típicas de esta temática, relacionadas con el diseño y desarrollo de modelos matemáticos del cuerpo humano empleados para simulación computacional de las condiciones de impacto [5] o bien, de modelos mecánicos instrumentados utilizados en ensayos de choque para evaluar la seguridad pasiva del vehículo y verificar la protección de su estructura [6]. Una aplicación adicional se relaciona con el peritaje en accidentes de tránsito [7].

Además, la elaboración de la PG4 favorece el proceso de enseñanza-aprendizaje, al posibilitar que el alumno desenvuelva progresivamente su capacidad para seleccionar y aprehender la información adecuada dentro del vasto campo de información disponible, y aplicarla luego a la solución del problema planteado. Al respecto, es de destacar lo expresado en la RM 1603-04 [4] al señalar que: “la intensidad de la formación *práctica* marca un distintivo de la calidad de un programa.... Una mayor dedicación a actividades de formación *práctica*, sin descuidar la profundidad y rigurosidad de la fundamentación teórica, se valora positivamente y debe ser adecuadamente estimulada”.

A continuación se presentan las conclusiones finales sobre esta experiencia educativa.

6. Conclusiones

En este trabajo se describió y analizó una actividad propuesta a los alumnos de la cátedra “Biomecánica” (Plan de Estudios 2014 de la carrera de Bioingeniería de la UNSJ) bajo la concepción del Paradigma de la Educación Basada en Competencias que, apoyado en estrategias metodológicas como el ABP, promueve el aprendizaje significativo y funcional del alumno.

Tal como se señaló, el propósito de la asignatura “Biomecánica” es intentar propiciar en el alumno el desarrollo y logro de competencias genéricas, referidas principalmente a la capacidad de “aprender a aprender”, analizar críticamente información científica, diseñar proyectos, tomar decisiones y solucionar problemas [1-3, 12-15].

A su vez, la cátedra prevé complementar tales competencias genéricas con las que son específicas de la temática sobre Biomecánica de Impacto, a través del desarrollo de clases teóricas y prácticas. Mediante la realización de estas clases se busca que los alumnos puedan integrar nuevos saberes relacionados, aún no contemplados en las Actividades Profesionales reservadas al Título de Ingeniero Biomédico y Bioingeniero, expresadas en la RM 1603-04 [4]. En este sentido, su abordaje en las respectivas carreras permitiría ampliar el perfil del egresado, al estar directamente relacionada con el campo laboral de estos profesionales.

La propuesta mostrada constituye así un ejemplo de implementación de la técnica de ABP, con el propósito de responder a lo expresado por la RM 1603-04 [4] respecto de la importancia de incorporar en las asignaturas de las carreras de Bioingeniería y de Ingeniería Biomédica, actividades de formación práctica cuya intensidad “*debe ser adecuadamente estimulada*”.

7. Referencias

- [1] GONCZI, A. (2001). Análisis de las tendencias internacionales y de los avances en educación y capacitación laboral basadas en normas de competencias. In: ARGÜELLES, A. y GONCZI, A. (Ed.), *Educación y capacitación basada en normas de competencias: una perspectiva internacional*. México: Limusa, p. 38-40.
- [2] BARREL, J. (1999). *Aprendizaje basado en Problemas, un Enfoque Investigativo*. Buenos Aires: Editorial Manantial. 268 p.
- [3] BARROWS, H. A. (1986). Taxonomy of problem based learning methods. *Medical Education*, vol. 20, p.481-486.
- [4] Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU), Ministerio de Educación, República Argentina 2004. <http://www.coneau.gob.ar/archivos/559.pdf>.
- [5] WISMANS, J.S. (1994). *Injury Biomechanics*. Países Bajos. 230p.
- [6] SEGUI-GOMEZ, M.; LOPEZ-VALDES, F. Y FRAMPTON, R. (2007). An Evaluation of The EuroNCAP Crash test safety Ratings in the real world. *51st ANNUAL PROCEEDINGS ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF AUTOMOTIVE MEDICINE*. p. 281-298.
- [7] ARREGUI-DALMASES, C; TEIJEIRA, R; REBOLLO-SORIA, M.C.; KERRIGAN, J.R. y CRANDALL, J.R. (2011). La biomecánica del impacto: una herramienta para la medicina legal y forense en la investigación del accidente de tráfico. *Revista Española de Medicina Legal, España*, V.14, p. 97-104.
- [8] EURONCAP, <https://www.euroncap.com/es>.
- [9] WIKIPEDIA, https://es.wikipedia.org/wiki/Euro_NCAP.
- [10] WIKIPEDIA, https://en.wikipedia.org/wiki/Abbreviated_Injury_Scale.
- [11] INSURANCE INSTITUTE FOR HIGHWAY SAFETY (IIHS). (2014). *Moderate Overlap Frontal Crashworthiness Evaluation Guidelines for Rating Injury Measures*.
- [12] CANO GARCÍA, M.E. (2008). La evaluación por competencias en la educación superior. Profesorado. *Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, vol. 12, n.3, p.1-16.
- [13] BLANCO, A., MORALES, P., PRIETO NAVARRO, L., TORRE, J.C. (2008). *La enseñanza universitaria centrada en el aprendizaje*. Barcelona: Octaedro/ICE UB. 192 p.
- [14] BENEITONE, P. et al. (2007). *Tuning América Latina. Reflexiones y Perspectivas de la Educación Superior en América Latina. 2004-2007*. Bilbao: Publicaciones de la Universidad de Deusto. 430 p.
- [15] VILLA A. (2013). *Tuning América Latina. Un modelo de Evaluación de Innovación Social Universitaria Responsable (ISUR)*. Bilbao: Publicaciones de la Universidad de Deusto. 431 p.