

## UNA EXPERIENCIA EDUCATIVA EN “INGENIERÍA DE REHABILITACIÓN” PARA GENERAR COMPETENCIAS SOBRE ORTOPROTÉSICA EN INGENIERÍA BIOMÉDICA Y BIOINGENIERÍA

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

**Carina del Valle Herrera**, Departamento de Electrónica y Automática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), cherrera@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 “Ingeniería de Rehabilitación”, correspondiente al 8° semestre de la carrera de Bioingeniería de la UNSJ. Tal experiencia intenta propiciar en el alumno, el desarrollo y logro de competencias específicamente referidas al “diseño de elementos, componentes, sistemas y partes de sistemas de prótesis y órtesis”, contempladas como Actividades Profesionales reservadas al Título de Ingeniero Biomédico y Bioingeniero en el Anexo V de la Resolución Ministerial N° 1603-04. Se describe la metodología empleada para este proceso de enseñanza-aprendizaje en la cátedra “Ingeniería de Rehabilitación”, su implementación en el año 2017 y se analiza el rol del ABP en la formación profesional del Ingeniero Biomédico y Bioingeniero, mediante la integración de conocimientos vinculados con el saber conocer, saber actuar y saber ser, en pos de la inclusión de personas con discapacidad.

**Palabras clave**— ABP, diseño computacional, impresión 3D.

### 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 con el fin de 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 “Ingeniería de Rehabilitación” de la

carrera de Bioingeniería de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) –correspondiente al área de Tecnologías Aplicadas y dictada en el 8° semestre–, de acuerdo a su Plan de Estudios 2014.

El objetivo general de tal cátedra es otorgar al alumno conocimientos propios de la ingeniería de rehabilitación, que lo capaciten para el diseño de productos ortoprotésicos –descritos en la Clasificación Internacional de Productos de Apoyo, conocida como Norma ISO 9999 [4]– a fin de contribuir a acortar la brecha entre las capacidades funcionales de personas con deficiencias motoras y las demandas del medioambiente. Mediante el logro de este objetivo se pretende generar en el alumno, competencias genéricas y específicas para el “diseño de elementos, componentes, sistemas y partes de sistemas de prótesis y órtesis”, definidas en las Actividades Profesionales reservadas al Título de Ingeniero Biomédico y Bioingeniero en el Anexo V de la Resolución Ministerial N° 1603-04 (RM 1603-04) sobre Estándares para Acreditación de estas carreras [5].

Para alcanzar este objetivo, la cátedra “Ingeniería de Rehabilitación” integra contenidos referidos a: características estructurales y funcionales de órtesis y prótesis; fundamentos de mecanismos; diseño computacional e impresión 3D de productos. 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 RM 1603-04 [5]. 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”* [5]. 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”* [5].

En las secciones siguientes se describe la metodología empleada para este proceso de enseñanza-aprendizaje en la cátedra “Ingeniería de Rehabilitación” de la UNSJ, su implementación en el año 2017 y se analiza el rol del ABP en la formación profesional del Ingeniero Biomédico y Bioingeniero.

## **2. Materiales y Métodos**

De acuerdo al Plan de Estudios 2014 de la carrera de Bioingeniería de la UNSJ, la asignatura obligatoria “Ingeniería de Rehabilitación” se implementó por primera vez en 2017 con el fin de optimizar y especificar los contenidos del Plan de Estudios de la carrera referidos a esta temática, respecto de la versión 2005 de este Plan de Estudios. A través de la nueva versión de la asignatura “Ingeniería de Rehabilitación” se busca integrar conocimientos de productos ortoprotésicos con los de mecánica y mecanismos, desarrollados anteriormente en otra asignatura del Plan de Estudios 2005 de Bioingeniería.

Cabe agregar además que en el Plan de Estudios 2005 de Bioingeniería, la asignatura “Ingeniería de Rehabilitación” formaba parte de la oferta de electivas, en donde se desarrollaba de manera más amplia la temática de diseño computacional de Productos de Apoyo para Personas con Discapacidad, contemplados en la Norma ISO 9999-2007 [4]. Un ejemplo del trabajo efectuado entre los años 2008 y 2016 en esta materia electiva (dictada de manera simultánea para alumnos de las carreras de Bioingeniería y de Diseño Industrial de la UNSJ) puede visualizarse en [6].

La planificación en “Ingeniería de Rehabilitación” (Plan 2014) de los contenidos sobre ortoprotésica prevé desarrollar la temática a través de clases teóricas y clases prácticas. Asimismo, si bien algunos de estos contenidos se articulan horizontal y verticalmente con los desarrollados en otras asignaturas de la carrera, para orientar particularmente el trabajo de los alumnos con el fin de promover un aprendizaje significativo y funcional sobre la temática de ortoprotésica, se ha elaborado una planificación de esta temática utilizando la estrategia metodológica del ABP [1-3].

En primer lugar, tal planificación prevé abordar a través de clases teóricas impartidas por la Profesora Titular de la asignatura, algunos contenidos conceptuales específicos sobre ortoprotésica y los mecanismos implicados, que han de considerar los alumnos para el tratamiento de la problemática propuesta en las actividades prácticas. Así, en las clases teóricas se presentan las características estructurales y funcionales de órtesis y prótesis, sus componentes, tipos existentes, así como los mecanismos que aproximan la función de algunos de estos tipos [7, 8, 9, 10, 11]. Se menciona también allí las fuentes de información a consultar para profundizar sobre estos contenidos (disponibles en la bibliografía sugerida [7, 8, 9, 10, 11] y a través de documentos de cátedra).

En segundo lugar, las actividades prácticas propuestas sobre esta temática permiten desarrollar simultáneamente, contenidos procedimentales y actitudinales a través de dos prácticas de gabinete (PG1 y PG2), que son conducidas por la Profesora Titular y la Jefe de Trabajos Prácticos de la materia. Ambas prácticas están basadas en el empleo del paquete de software de CAD *Fusion 360* (Autodesk) [12], con el objeto de que el alumno adquiera habilidades para el diseño computacional 2D y 3D. Además, los alumnos forman grupos (hasta 3 alumnos por grupo), lo cual favorece el trabajo en equipo y permite el intercambio de saberes entre ellos.

Bajo la concepción de la modalidad práctica denominada *Resolución de Problemas de Ingeniería* (RM 1603-04) [5], en la PG1 se propone a los alumnos diseñar computacionalmente una articulación ortésica, permitiendo a cada grupo definir el tipo de articulación sobre el que trabajarán. Además, a lo largo del semestre los alumnos aprender a diseñar componentes de órtesis de orden creciente de complejidad, con el fin de lograr progresivamente, la adquisición de habilidades para el diseño computacional en 2D y 3D. Otro aspecto considerado en dicha planificación es intentar propiciar una actitud proclive al aprendizaje activo del alumnado [13].

Por su parte, en la PG2 se plantea el diseño computacional de un mecanismo articulado, semejante a un dispositivo terminal (también denominado pinza o gancho) para prótesis de extremidad superior. Según la Norma ISO 9999-2007 [4], se define como dispositivo terminal a: “*un dispositivo usado como componente de prótesis del miembro superior para sustituir alguna de las funciones de una mano normal*”. Además, una vez efectuado el diseño computacional en 3D de ambos componentes, se obtienen los archivos con extensión *stl* para su posterior impresión 3D.

Por último, para afirmar todo este proceso de enseñanza-aprendizaje, además de las clases teórico-prácticas sobre el tema elegido impartidas por la cátedra, se prevén clases de consultas que permiten a los alumnos resolver sus dudas y a los docentes, orientar dicho proceso hacia la consecución de los objetivos propuestos. Así también, para la elaboración de las PG1 y PG2 se entrega a los alumnos las Guías de Aprendizaje respectivas, en donde se explicitan los objetivos generales y específicos de cada una de estas actividades, elaborados en base a los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales a ser considerados para cada tema elegido.

A continuación se describe brevemente la forma en que la planificación de esta temática ha sido implementada durante el año 2017 en la cátedra “Ingeniería de Rehabilitación”.

### **3. Implementación de la Experiencia Educativa**

Aplicando la metodología previamente descrita, los alumnos de la cátedra “Ingeniería de Rehabilitación” han diseñado computacionalmente, a través de las PG1 y PG2, una articulación ortésica y un mecanismo articulado de garra robótica, semejante a un dispositivo terminal de prótesis de extremidad superior. Además, a fin de visualizar el principio de funcionamiento de esta garra robótica, en las correspondientes clases teóricas se mostró la operación de un modelo físico de una garra robótica de 1 grado de libertad, accionada por un motor paso a paso a través de una placa *Arduino Uno*®.

Asimismo, para evaluar las actividades comprendidas en las PG1 y PG2, 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 [14], 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 plantean a los alumnos pequeños problemas a través de instrumentos ABP, que deberán resolver en base a una guía de consignas, catálogos de productos de apoyo, normas nacionales o internacionales y búsqueda de información y videos en internet. Asimismo, al formar los alumnos grupos 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 el resto de los estudiantes, lo cual permite visualizar la participación individual en la búsqueda de la solución del pequeño problema planteado. Cada grupo presenta además, los planos de diseño computacional de los componentes ortésico y protésico y realiza una exposición oral, que le permite mostrar a los integrantes de la cátedra y a sus compañeros de cursada, los resultados de su trabajo.

### **4. Resultados**

A modo de ejemplo, en las Figuras 1 y 2 se muestra respectivamente, el resultado final del diseño logrado por un grupo de alumnos para el diseño computacional de articulación ortésica y de la garra robótica, semejante a un dispositivo terminal de prótesis de extremidad superior.

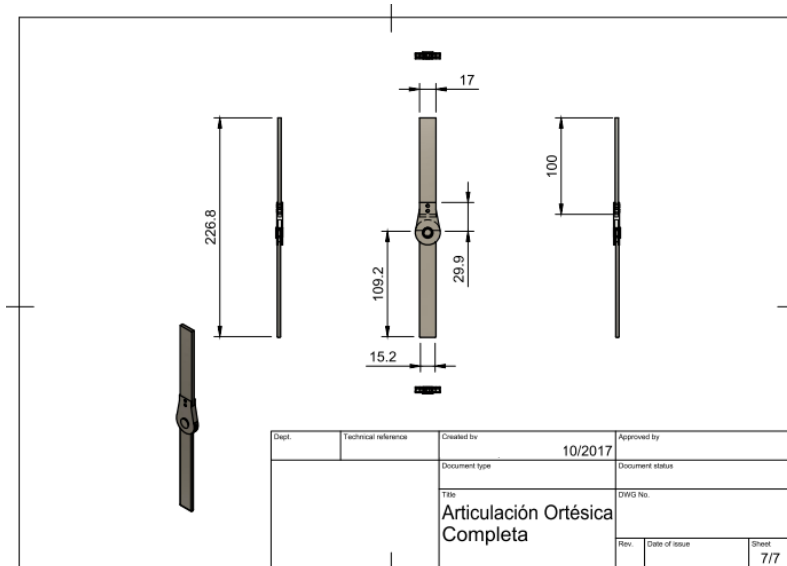


Figura 1. Visualización de parte del plano de diseño computacional de una articulación ortésica, en donde se observa el ensamble de sus componentes.

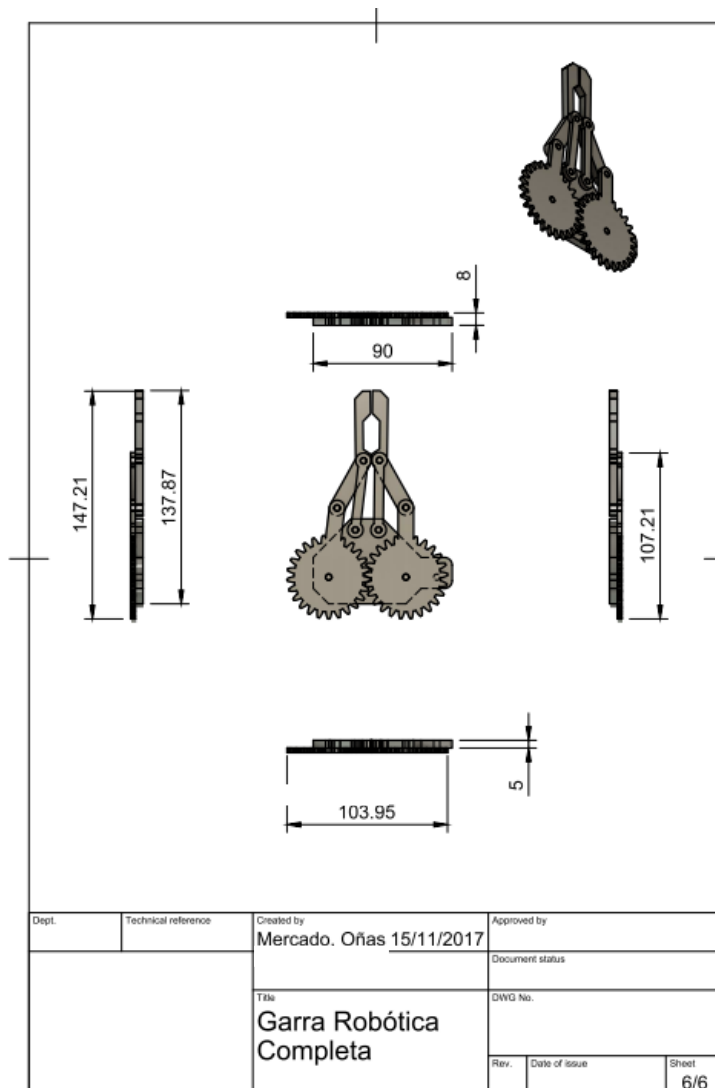


Figura 2. Visualización del plano de diseño computacional de una garra robótica, similar a un dispositivo terminal de prótesis de miembro superior. Se observa el ensamble de componentes.

Cabe agregar que cada grupo de alumnos realiza una animación del ensamble de componentes de cada mecanismo, así como un video, en donde se visualiza este ensamble y su funcionamiento en condiciones reales de operación. En particular, en la Figura 3 se observa el ensamble de componentes de la garra robótica que simula la operación de un dispositivo terminal de prótesis de extremidad superior.

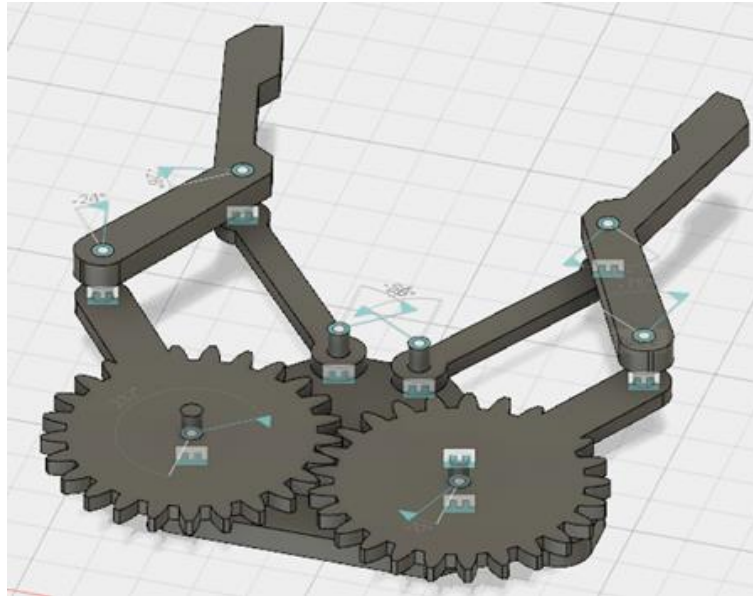


Figura 3. Visualización del ensamble de componentes de la garra robótica diseñada en *Fusion 360*, en donde se observa el rango de excursión angular de los componentes.

Seguidamente se analiza la manera en que la incorporación de la técnica de ABP en la planificación de asignaturas propias del Área de Tecnologías Aplicadas, 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 “Ingeniería de Rehabilitación”**

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 [15, 16]. 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 [15-16]. 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, 13-16].

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 “Ingeniería de Rehabilitación”, a través de la planificación de las PG1 y PG2, se propone el tipo de formación práctica denominado *Resolución de Problemas de Ingeniería* (RM 1603-04) [5], que permite integrar contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales, 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 como es el caso del diseño de dispositivos ortoprotésicos para personas con deficiencias motoras.

Además, la elaboración de las PG1 y PG2 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 [5] 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 relacionadas con esta experiencia educativa.

## **6. Conclusiones**

En este trabajo se describió y analizó una actividad propuesta a los alumnos de la cátedra “Ingeniería de Rehabilitación” (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 “Ingeniería de Rehabilitación” 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, 13-16].

A su vez, la cátedra prevé complementar tales competencias genéricas con las que son específicas de la temática sobre ortoprotésica, a través del desarrollo de clases teóricas y prácticas. Mediante la realización de estas clases se busca que los alumnos puedan integrar saberes relacionados con algunas de las Actividades Profesionales reservadas al Título de Ingeniero Biomédico y Bioingeniero, expresadas en la RM 1603-04 [5].

La propuesta mostrada aquí constituye así un ejemplo de implementación de la técnica de ABP, con el propósito de responder a lo expresado por la RM 1603-04 [5] 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] UNIT-ISO 9999 (2007). Productos de apoyo para personas con discapacidad — Clasificación y terminología. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. <http://www.uruguayaccessible.com.uy/wp-content/uploads/2014/05/UNIT-ISO-9999-2007.pdf>.
- [5] Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU), Ministerio de Educación, República Argentina 2004. <http://www.coneau.gov.ar/archivos/559.pdf>.
- [6] RODRIGO, S.E., HERRERA, C.V. (2015) Análisis de una experiencia educativa en “Ingeniería de Rehabilitación” desde el paradigma de la educación basada en competencias. XX Congreso Argentino de Bioingeniería y IX Jornada de Ingeniería Clínica SABI 2015. San Nicolás (Buenos Aires), 28-30 Octubre.
- [7] COOPER, R.A., OHNABE, H., HOBSON, D.A. (2006). *An Introduction to Rehabilitation Engineering*. United States of America: Taylor and Francis. 470 p.



- [8] COOK, A.M., HUSSEY, S.M. (2007). *Assistive Technologies: Principles and Practice*, 2° edition. China: Mosby Inc. Editions. 592 p.
- [9] VIOSCA, E., PEYDRI, M.F., PUCHOL, A., SOLER, C., PRAT, J., CORTÉS, A., SÁNCHEZ, J., BELDA, J.M., LAFUENTE, R., POVEDA, R (1999). *Guía de Uso y Prescripción de Productos Ortoprotésicos a Medida*. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia, Valencia. 509 p.
- [10] COOPER, R.A. (1995). *Rehabilitation Engineering: Applied to Mobility and Manipulation*. United States of America: Taylor and Francis. 534 p.
- [11] NORTON, R.L. (2009). *Diseño de Maquinaria. Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*, 4° edición. México: Mc Graw-Hill. 754 p.
- [12] FUSION 360. Autodesk. <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators>.
- [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] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.