

# Marco de referencia de enseñanza-aprendizaje para la formación de investigadores en desarrollo de dispositivos médicos

Clara Isabel López  
Luis Eduardo Bautista  
Edna Rocío Bravo

Universidad Industrial de Santander, Colombia

## **Resumen**

El desarrollo de nuevos productos para el sector biomédico requiere de conocimientos, habilidades y competencias específicas que permitan garantizar la seguridad y precisión de los productos para beneficio de los pacientes. El propósito del trabajo de investigación fue definir un marco de referencia para la formación de estudiantes, enfocados en la investigación, el diseño y desarrollo de nuevos productos biomédicos ortopédicos, fundamentado en las estrategias de aprendizaje basado en problemas ABP y aprendizaje orientado por proyectos AOP. En el modelo fue incorporado el proceso de diseño de implantes y prótesis orientados a pacientes específicos, el cual es soportado en la integración de tecnologías informáticas TIC, BiOCAD, CAD, CAE y RP. La implementación del modelo fue posteriormente evaluada, permitió identificar su contribución como facilitador en el proceso de formación investigativa y fortalecimiento de las competencias requeridas para el desarrollo de los proyectos de investigación en el desarrollo del trabajo de grado.

Learning-teaching reference framework for the training of researchers in the development of medical devices

## **Abstract**

The development of new products for the biomedical sector requires specific knowledge, skills and competencies that guarantee the safety and precision of he practices to benefit patients. The main purpose of the research was to define a reference framework for the training of students who are researching the design and development of new biomedical orthopedic products, founded in the learning strategies based on ABP problems and learning guided by AOP projects. The model incorporated the process of implant and prosthesis design aimed at specific patients, which is supported by the integration of various technologies, such as ICT, BiOCAD, CAD, CAE and RP. The implementation of the model was later evaluated, allowing us to identify its contribution as a facilitator in the process of research training and the reinforcement of required competencies for the development of research projects for degree-track work.

## **Palabras clave**

CAD, Aprendizaje basado en proyectos ABP, ingeniería inversa, impresión 3D, PSI, TIC.

## **Keywords**

3D printing,  
CAD, ICT, inverse engineering,  
learning based on ABP projects, PSI.

Recibido: 31/08/2016

Aceptado: 17/01/2017

## Introducción

**E**n los últimos años la investigación en torno al desarrollo de productos ha contribuido al avance biomédico y el desarrollo tecnológico de productos con alto impacto en la atención de la salud y el bienestar de las personas (Lehoux, *et al.*, 2013). El proceso para el desarrollo de los dispositivos médicos se ha consolidado y ha evolucionado, debido a los avances científicos y la implementación de diferentes tecnologías, lo que ha permitido generar productos innovadores, así como optimizar procesos y costos (Bribiescas, *et al.*, 2014).

El proceso de diseño de estos dispositivos, según Díaz Lantada (2013) experto en diseño y fabricación de dispositivos médicos, quien plantea la importancia de articular las etapas de diseño por medio de la integración de tecnologías de ingeniería inversa (RE), diseño asistido por computador (CAD), ingeniería asistida por computador (CAE) y prototipado rápido (RP). De hecho, la integración de tecnologías de software en el proceso de ideación y desarrollo de productos en el campo de la ingeniería de diseño (Brault, *et al.*, 2007), ha cambiado el enfoque y los métodos de desarrollo de productos, debido a que aportan una reducción en el tiempo del proceso y permite interconectar, compartir y aumentar la precisión en la recolección de datos (Mandić y Ćosić, 2011).

Los implantes a medida o implantes PSI (Cronskär, 2014) y los dispositivos médicos como las prótesis (Colombo, *et al.*, 2010) clasificados por el I Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, INVIMA, (Ministerio de Salud y Protección Social e INVIMA, 2013) como dispositivos médicos sobre medida, deben ser precisos y adaptarse adecuadamente a las interfaces (ósea o muscular). Por lo tanto, de acuerdo con Díaz (2013), es fundamental la apropiación de las tecnologías, en situaciones que requieren: la obtención de modelos anatómicos de referencia (Rotaru, *et al.*, 2012); el modelado de las soluciones de diseño (Wang, *et al.*, 2012); la verificación por simulación de la calidad y resistencia del diseño (Kluess, *et al.*, 2009).

Sin embargo, estas tecnologías especializadas requieren de la apropiación y aprendizaje de herramientas de software, lo que implica la formación del recurso humano (Macías, *et al.*, 2014). Por otra parte, Chen y Teng (2011) afirman que la formación en el uso de herramientas software es inadecuada, debido a un enfoque genérico, por lo que se recomienda diseñar estrategias de enseñanza, según los requerimientos en el uso de software. Lo anterior, evidencia que los estudiantes deben incrementar sus habilidades y capacidades en el uso de tecnologías. Además, dado el contexto del mercado actual en el desarrollo de dispositivos médicos, es importante que adquieran el dominio de estas herramientas como parte de su desarrollo profesional (Díaz Lantada, *et al.* 2013). De acuerdo con los autores, es pertinente proponer un

marco de referencia orientado a facilitar el aprendizaje de estas herramientas software.

Diferentes modelos de aprendizaje como el descrito por Macías y colaboradores (2014), basado en saber, saber hacer y saber ser, definió e implementó mecanismos, herramientas y procedimientos para la formación de diseñadores en competencias, habilidades, destrezas y realización de tareas durante el desarrollo de nuevos productos en la industria médica. A su vez Caceres y Conejeros (2011), expone un modelo de enseñanza desde una aproximación constructivista y una metodología centrada en el aprendizaje para el desarrollo de habilidades cognitivas en la resolución de problemas. Disla García (2013) comprobó que la estrategia de aprendizaje por proyectos, y el trabajo colaborativo, favorece el aprendizaje porque los alumnos son los protagonistas, se logra planificar y organizar las actividades, mejora la comunicación, respeta los estilos de trabajo y desarrolla el auto aprendizaje (Disla García, 2013).

De acuerdo con el panorama expuesto, se propuso un marco de referencia integrado por procesos de enseñanza y aprendizaje para la formación básica en investigación. Este marco se enfocó en el tipo de entrenamiento que el estudiante recibiría, de acuerdo con su intervención dentro de los procesos de ideación y desarrollo de productos biomédicos, la construcción de su propio conocimiento (Wilkin, 2014) y su rol dentro del ciclo de transferencia de conocimiento entre los estudiantes que finalizan su proceso y los estudiantes que inician sus proyectos. A partir de este marco se definieron las estrategias para la formación de estudiantes con las habilidades y competencias requeridas para el desarrollo de su trabajo de grado. Este marco de referencia fue definido por medio de la visión de la teoría constructivista conocida como aprendizaje basado en problemas (ABP) (Fu, *et al.*, 2014) y aprendizaje orientado por proyectos AOP (García-Ruiz, *et al.*, 2014).

El artículo está estructurado en los siguientes apartados: se describe una sección sobre revisión de la literatura sobre los principales tópicos aplicados en la definición del marco de referencia; con base en la comprensión de los conceptos se organizó un siguiente apartado sobre la descripción de la metodología; en resultados se presenta el proceso de construcción del marco de referencia y los resultados de su aplicación la cual fue evaluada por medio de una encuesta. En un último apartado se discuten los resultados y conclusiones.

## Revisión de literatura

### *Aprendizaje basado en problemas (ABP)*

El aprendizaje basado en problemas (ABP) como un modelo para la formación, se originó en la educación médica (Wijnia, Loyens, van

Gog, Derous y Schmidt, 2014), se adoptó por otras áreas como: negocios (Stinson y Milter, 1996) y educación (Wilkin, 2014). La resolución de problemas es definida como una actividad que involucra procesos cognitivos hacia el entendimiento del entorno para resolver problemas (Fu, *et al.*, 2014). ABP se orienta al desarrollo de habilidades profesionales como: pensamiento crítico, habilidades de comunicación y autoaprendizaje (Jiménez, Lagos y Jareño, 2013), la responsabilidad, el liderazgo y el compromiso con el grupo de trabajo (Jareño, Jiménez y Lagos, 2014).

Se revisaron diferentes enfoques para la resolución de problemas. En consenso los autores Polya (1945) y Vizcarro y Juárez, (2008), establecen etapas como la definición del problema, el establecimiento de acciones para dar solución al problema y seguimiento o realimentación de la solución planteada. En el marco de estas etapas se reunieron las siguientes prácticas: aclarar conceptos y términos; comprensión del problema; analizar el problema; estudio auto dirigido; informe preliminar; resumen sistemática; formular objetivos de aprendizaje; buscar información adicional, elaboración de un plan; ejecución del plan y reflexión y evaluación acerca del resultado (Polya, 1945; Vizcarro y Juárez, 2008).

#### *Formación en competencias a través de aprendizaje orientado en proyectos (AOP)*

En el campo de diseño de dispositivos biomédicos, la aplicación de una estrategia de aprendizaje mediante proyectos (Sienko, Sarvestani y Grafman, 2013), permite el desarrollo de habilidades para el trabajo en proyectos colaborativos, multidisciplinarios, autónomos y con aprendizaje reflexivo (García-Ruiz y González, 2014). El enfoque se orienta al desarrollo de habilidades en aspectos conceptuales y metodológicos de la formación y gestión de talento humano (Tobón, 2008).

Este enfoque genera ventajas al aplicarse en educación superior (Espinosa-Mirabet, 2015), observadas en: la gestión de la calidad en los procesos de enseñanza/aprendizaje, la internacionalización, la movilidad de la investigación originada en el intercambio de experiencias de estudiantes y profesores (Galeana, 2004). A su vez, permite la formación y desarrollo de semilleros, promueve el aprendizaje significativo, y genera dinámica de la constante búsqueda de soluciones innovadoras (Mujica Rodríguez, 2012).

#### *Antecedentes de investigación basada en diseño y enfoque constructivista*

La ingeniería en diseño es conocida como una disciplina “orientada a los objetivos y el proceso de toma de decisiones para crear

productos que satisfagan las necesidades humanas bien definidas" (Rao, Savsani y Vakharia, 2011). Es un proceso creativo e iterativo, interactivo y multidisciplinar. Permite adquirir conocimiento estructurado, desarrollar habilidades y capacidades de análisis y síntesis, mediante procesos de evaluación heurística para tomar decisiones durante el ciclo de diseño (Brault, *et al.*, 2007).

La ingeniería de diseño podría estar relacionada con la perspectiva de la investigación basada en diseño (Design Based Research, DBR), este concepto es propuesto para desarrollar investigación y desarrollo basado en una metodología híbrida; para crear relaciones sinérgicas entre la investigación, el diseño y la ingeniería (F. Wang y Hannafin, 2005). DBR es considerada como un enfoque constructivista de aprendizaje, ya que permite la participación activa en la construcción de su propio conocimiento (Wilkin, 2014).

Algunas estrategias importantes del DBR son: el modelo de enseñanza colaborativo como el PBL y la formación basada en competencias a través de proyectos AOP (Jareño, Jiménez y Lagos, 2014), ya que permiten la construcción de conocimiento en lugar de la transferencia de conocimiento (García-Ruiz, *et al.*, 2014). Es por esto que, se reconoce el aprendizaje como un proceso de construcción activa de conocimiento, en lugar de un proceso pasivo de recepción de información (Baeten, Struyven y Dochy, 2013).

El enfoque de enseñanza-aprendizaje constructivista relacionado con el proceso de investigación para el diseño y desarrollo, es esencialmente soportado por el uso de nuevas tecnologías; así como del aprendizaje de herramientas software para la gestión de información y desarrollo basado en reconstrucción, diseño y evaluación por simulación de modelos virtuales (Díaz Lantada, *et al.*, 2013). Este tipo de software están incluidas en la dinámica propuesta por las TIC, tecnologías de la información y comunicación (OECD). Las TIC, en el proceso de enseñanza-aprendizaje, deben mantener un enfoque fundamentado en el aprendizaje práctico (Bidarian, Bidarian y Davoudi, 2011).

### *Las TIC en el desarrollo de nuevo producto (DNP)*

Las TIC, permiten la conexión de la información y datos para el desarrollo de los productos, genera una sinergia entre los actores para el desarrollo de proyectos a nivel individual, organizativa o a nivel de sistemas (Casillas, *et al.*, 2016). Una de las funciones de las tecnologías de información y comunicación asociadas por la UNESCO (2008) para el desarrollo de competencias sobre el apartado "las competencias de aplicación que están vinculadas con el uso de habilidades y conocimientos para crear y gestionar proyectos complejos, resolver problemas en situaciones del mundo

real, colaborar con otros, y hacer uso de las redes de acceso a la información y a los expertos" (Arras Vota, *et al.*, 2011).

### *Desarrollo de nuevo producto (DNP)*

El desarrollo de nuevos productos DNP o New Product Development (NPD), se refiere a las técnicas, métodos y procesos seguidos para desarrollo de un tangible o intangible. Ulrich y Eppinger (2009) definen DNP como el conjunto de actividades que comienzan con la percepción de una oportunidad de mercado y que terminan en la producción, la venta y la entrega de un producto (Loch y Kavadias, 2008; Ullman 2015). En DNP se describen las prácticas, actividades, fases, métodos y herramientas. (Amaral, Rozenfeld y Araujo, 2007); la gestión, la ingeniería y el trabajo en sistemas de información para mejorar la probabilidad de éxito (Zdravković, *et al.*, 2012); la eficiencia del nuevos procesos de DNP (Défossez y Serhan, 2014); la aplicación de herramientas. nuevas o mejoradas como: CAD, CAE, CAM (Cronskar, Rännar y Bäckström, 2012) y la integración de métodos en las etapas de DNP (Medina, Okudan y Wysk, 2013).

Desde la visión técnica, DNP está altamente influenciado por las tecnologías digitales, constituyéndose como una manera de reducir el tiempo en los procesos de diseño y genera una alta inter-relación entre la tecnología y el diseño. Las etapas del proceso de DNP, asociadas con el diseño, están soportadas por herramientas software CAD para el modelado de volúmenes; mientras que la evaluación in Silico, o CAE, se realizan simulaciones basadas en algoritmos matemáticos (Díaz Lantada, *et al.*, 2013). Por último, una vez validado el diseño, se procede a la obtención de prototipos (Mandić y Ćosić, 2011).

En síntesis, la propuesta del marco de referencia orientado al proceso de enseñanza y aprendizaje para la formación de investigadores en investigación en diseño de nuevos dispositivos médicos, se direcciona a fortalecer la línea de investigación en DNP en la sublínea desarrollo de dispositivos médicos para pacientes específicos. Bajo esta tipología de investigación se requiere la integración de las TIC que involucra software especializado como facilitador en la generación de modelos CAD para lograr geometrías personalizadas.

Por otra parte, en los trabajos de grado en investigación, los estudiantes solo adquieren competencias por medio de trabajo independiente TI y en menor grado por medio de trabajo asistido docente TAD; a su vez que las investigaciones abordan temas complejos y multidisciplinares. En respuesta a lo anterior, se identificó la necesidad de establecer estrategias que facilitaran el proceso formativo del estudiante, para que respondiera de forma satisfactoria frente al reto de desarrollar proyectos en DNP biomédicos. Es así como desde el enfoque constructivista, se identificó

que el AOP y el ABP proveían procesos de aprendizaje orientados a la práctica y de absorción de conocimiento, debido a la generación de situaciones específicas a resolver. Adicionalmente, en función de la permanencia y evolución del conocimiento en los tópicos de interés del grupo, por medio de espacios de transferencia de conocimiento hacia estudiantes que inician su formación, con el objeto de facilitar el proceso formativo y se propicie una mayor asimilación de conocimientos.

## Metodología

El planteamiento del modelo se realizó en tres etapas: conceptualización y contextualización, donde se establecieron los lineamientos para la concepción del modelo; definición del modelo, donde se realizó la definición del modelo, aplicación y seguimiento; Finalmente, evaluación por medio de encuesta, realizada para analizar los efectos y resultados derivados de la aplicación de las estrategias en los estudiantes participantes.

### *Etapa I: conceptualización y contextualización*

En esta etapa, se realizó una revisión de la literatura no estructurada orientada a identificar los componentes teóricos, considerados clave como estrategias de aprendizaje integradas en procesos de adquisición de habilidades y competencias para la definición del marco de referencia. En esta revisión se analizaron investigadores sobre ABP: Du, Su, (2013); Fu, *et al.*, (2014); Wilkin (2014); Clarke (2001); Villa y Poblete, (2007), y los autores que han escrito sobre Aprendizaje Orientado a Proyectos AOP: Tobón (2013); García-Ruiz y González (2014), Villa y Poblete, (2007).

Se establecieron como criterios de inclusión, los artículos sobre modelos de aprendizaje, aprendizaje colaborativo, TIC y competencias; se excluyeron artículos sobre instituciones de enseñanza, profesorado y perfil de aprendizaje. En la tabla 1 se muestra el análisis comparativo de las estrategias, habilidades y competencias y los enfoques de enseñanza y aprendizaje ABP y AOP.

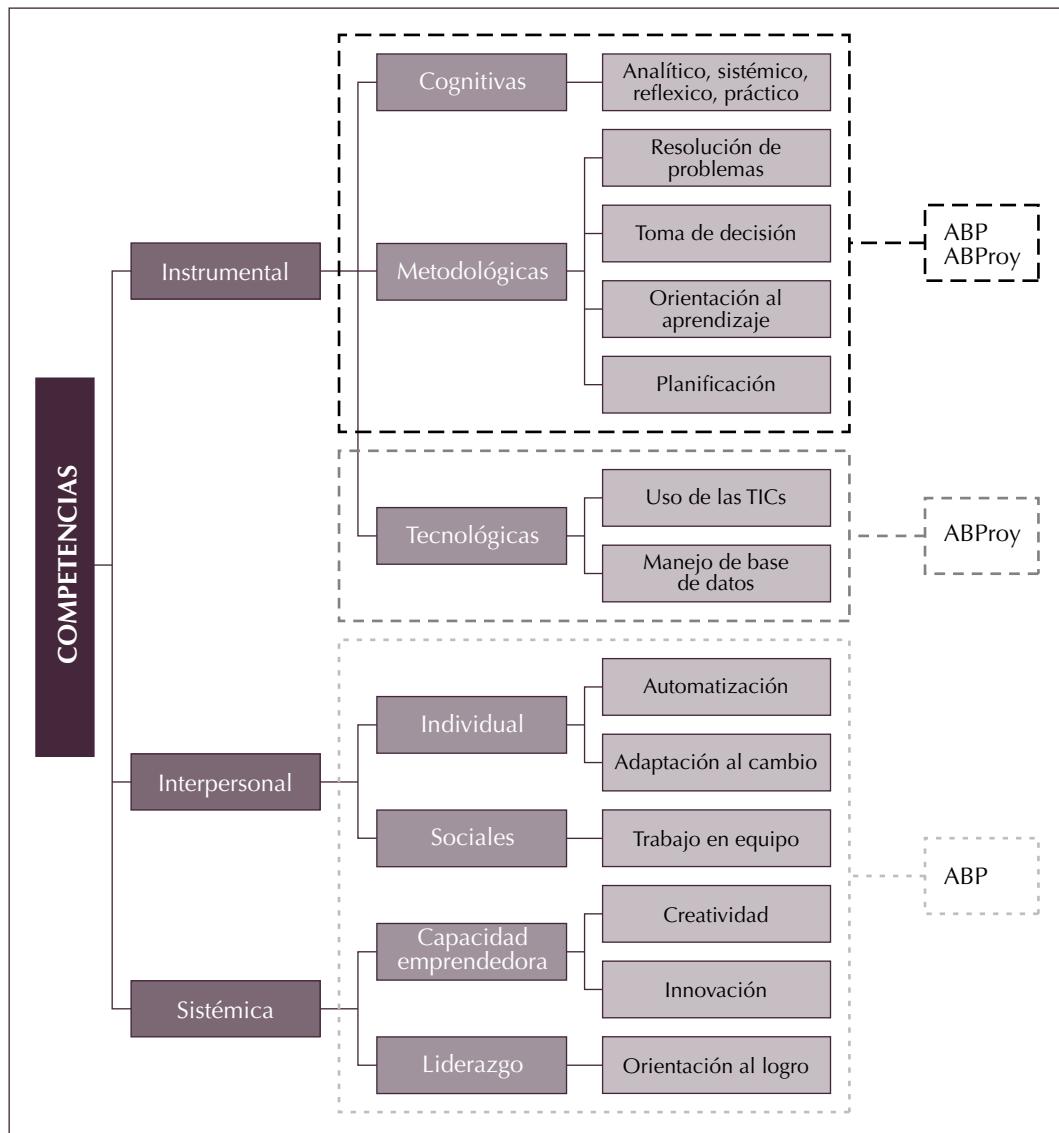
Con base en el análisis de estos enfoques y la asociación del mapa conceptual de competencias propuesto por Villa y Poblete (2007), se observa que los enfoques ABP y AOP, involucran competencias cognitivas y metodológicas; sin embargo, las competencias tecnológicas están más asociadas con AOP, dado que están relacionadas con las habilidades. En cuanto a las competencias interpersonales y sistémicas, se han tenido en cuenta tanto ABP como AOP ya que involucran las competencias interpersonales sociales. Con base en el análisis comparativo, se plantearon las competencias propuestas en el modelo de la figura 1.

**Tabla 1.** Comparativo de enfoques de enseñanza y aprendizaje.

ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE	
<b>Aprendizaje basado en problemas ABP</b>	<b>Aprendizaje orientado a proyectos AOP</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fomentar el desarrollo cognitivo y el conocimiento (Du, Su y Liu, 2013).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de habilidades conceptuales y metodológicas de la formación y gestión de talento humano (Tobón, 2008).</li> <li>• Promover la capacidad de investigación (Savedra, <i>et al.</i>, 2015)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fomentar la aplicación de conocimientos y el entendimiento del entorno para resolver problemas (Fu, <i>et al.</i>, 2014).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprendizaje autónomo (García-Ruiz y González, 2014).</li> <li>• Proveer de una herramienta y una metodología para aprender cosas nuevas de manera eficaz (Galeana, 2004).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participación por medio del trabajo colaborativo (Wilkin 2014; Márquez Lepe y Jiménez-Rodrigo, 2014).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de habilidades para el trabajo colaborativo, multidisciplinar (García-Ruiz y González, 2014).</li> <li>• Promover el trabajo disciplinar (Disla García, 2013).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reflexión constante del proceso, del aprendizaje y de la experiencia (Wilkin 2014; Márquez y Jiménez-Rodrigo, 2014; Clarke y Hubball, 2001).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprendizaje reflexivo (García-Ruiz y González, 2014)</li> <li>• Promover respeto por otras culturas, lenguas y personas (Galeana, 2004).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificación y gestión de recursos (Clarke y Hubball, 2001).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión de talento humano (Tobón, 2008).</li> <li>• Desarrollar empatía (Disla García, 2013)</li> </ul>
HABILIDADES Y COMPETENCIAS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimientos habilidades y actitudes (Villa y Poblete, 2007)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colaboración, planeación de proyectos, comunicación, toma de decisiones y gestión del tiempo, desarrollo de habilidades de colaboración para construir conocimiento, mejora de competencias cognitivas (Disla García, 2013).</li> <li>• Conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes y valores (Villa y Poblete, 2007)</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realizó la revisión de la literatura sobre TIC en el proceso de ideación y definición de productos biomédicos. Con base en esta revisión y trabajos de grado del grupo Interfaz (González, 2015; Cáceres, 2013), se codificó el proceso mediante un flujo de trabajo que integró las etapas y las herramientas basadas en ingeniería inversa, diseño, evaluación in Sílico y prototipado rápido (Díaz Lantada, 2013). De este modo con base en la comprensión de las estrategias planteadas desde ABP y AOP, la identificación de competencias a involucrar en el proceso formativo dirigido por el uso de TIC, contextualizado en el proceso de ideación y definición de dispositivo biomédico personalizado establecido desde la experiencia adquirida en el grupo de investigación, se estableció una estructura metodológica y se definieron

**Figura 1.** Tipos de competencias.

Fuente: Adaptado de Villa y Poblete (2007).

las etapas de desarrollo de producto, la cual será presentada en siguientes apartados.

### *Etapa II: definición del modelo*

Se parte de la situación en que los estudiantes en sus horas de TI, deben aprender el uso de software como herramienta fundamental

en el proceso de diseño de dispositivos médicos, debido a que algunas de estas herramientas digitales, no hacen parte su proceso formativo del programa académico. Bajo esta dinámica, el proceso de aprendizaje y adquisición de las habilidades requeridas para el desarrollo de su proyecto de grado es más complejo. Se planteó que el marco de referencia compuesto por herramientas y estrategias que funcionen como facilitadores de formación basada en competencias definidas por AOP (Jareño, Jiménez y Lagos, 2014), para que el estudiante apropie en su estructura formativa el proceso creativo e iterativo, interactivo y multidisciplinar (Brault, *et al.*, 2007).

Una vez establecidas las principales estrategias, se procedió a definir un marco de referencia integrado por tres ciclos. En estos ciclos se involucró el proceso de formación, organizado por un mapa de procesos, entrada-proceso-salida, en el que se analizaron y definieron las habilidades requeridas por el estudiante para cumplir cada etapa. El proceso se estructuró mediante el análisis de los requerimientos en el uso de cada software durante el flujo de trabajo para el desarrollo de nuevos implantes para pacientes específicos.

Posteriormente, se identificaron las necesidades de aprendizaje de software utilizado en las etapas de proceso de DNP: en las fases de ingeniería inversa (RE), diseño asistido por computador (CAD), ingeniería asistida por computadora (CAE) y Prototipado Rápido (RP). Se listaron las operaciones correspondientes a reconstrucción 3D, dibujo en 2D y 3D, diseño y modelado, evaluación por simulación y operaciones asociadas a la configuración de la pieza para su impresión 3D. En este marco se planearon los resultados esperados en cada etapa del proceso, se identificaron las competencias a adquiridas una vez se finalizó el proceso de aprendizaje.

Dado que se analizó la forma cómo los estudiantes gestionaron su proceso de aprendizaje, se definieron dos modalidades; trabajo independiente (TI) y trabajo asistido por el marco de referencia (TAM) cuyo concepto incluye la participación de docentes, proveedores o involucrando los mismos estudiantes previamente formados como facilitadores de conocimiento para el aprendizaje de las herramientas software bajo escenarios propuestos en AOP y ABP.

Se diseñó un plan que integró las estrategias para la implementación del marco de referencia, de tal forma que permitiera desarrollarse durante el periodo de duración de un proyecto de grado. Los enfoques y objetivos de las estrategias se describen a continuación:

- ▶ Enfoque basado en investigación en diseño: abordar un enfoque metodológico de casos de estudio, iteraciones orientadas a la práctica y satisfacción de los requerimientos de diseño.

- ▶ Enfoque basado en ABP y AOP: definir temas a resolver por medio de casos de estudio, que permita identificar y definir cuales herramientas software debe utilizar el estudiante. Establecer un modelo de enseñanza de software ajustado a las tipologías de los proyectos a desarrollar.
- ▶ Enfoque basado en talento humano: facilitar el proceso de aprendizaje del estudiante, mediante el acompañamiento de asesores conformados por profesores y la colaboración de asesores comerciales expertos, oferta de seminarios y cursos técnicos.
- ▶ Enfoque basado en la multidisciplinariedad: integrar un equipo colaborativo de investigadores y empresarios del área de diseño, ingeniería manufactura y medicina, para apoyar al estudiante en la asimilación de los conceptos según su área de conocimiento.
- ▶ Enfoque basado en la enseñanza y uso de TIC: adquirir la capacidad de definir y el diseño de productos biomédicos, por medio del desarrollo de habilidades y competencias en el uso de las herramientas software y tecnologías.

### *Etapa III: evaluación*

Se utilizó la encuesta como instrumento de evaluación para conocer desde la percepción de los estudiantes, si las estrategias aplicadas en el proceso de aprendizaje de TIC obtuvieron un efecto positivo. La encuesta se dividió en 4 módulos: BiOCAD, CAD, CAE y RP. La ventana de observación fue de un periodo de dos años desde la implementación del modelo en el 2014 hasta el primer trimestre de 2016.

Participantes. El tamaño de la muestra inicial fue de 14 estudiantes de la carrera de Diseño Industrial, sin embargo, se excluyeron tres estudiantes de la muestra, dado que estaban en las etapas iniciales de formación. Los once estudiantes seleccionados para la encuesta desarrollaron sus trabajos mediante la utilización de tecnologías como: BioCAD, CAD, CAE y RP, en proyectos de DNP Biomédicos. Se definieron dos grupos: El primero conformado por cuatro estudiantes que desarrollaron su trabajo de grado en el tópico de interés en modo TI, es decir el aprendizaje de software para su trabajo de grado fue de manera independiente. En el segundo grupo, se realizó la entrevista a siete estudiantes vinculados a TAM.

El instrumento utilizado fue una encuesta estructurada por módulo visto en la tabla 2. Las preguntas se plantearon para indagar aspectos sobre la percepción del estudiante frente al nivel de logro; la dificultad del aprendizaje alcanzado en el uso de las herramientas software; el grado de satisfacción por el aprendizaje con las herramientas software, cuyo entrenamiento estuvo enfocado en problemas correspondientes al tópico del proyecto de trabajo

**Tabla 2.** Indicadores de evaluación del modelo.

Indicador	Descripción	Escala
1	Percepción sobre el grado de entrenamiento recibido.	Cualitativa Dicotómica Nominal
		Cuantitativa Polítómica Razón $\frac{1}{100} \sum_{i=1}^n x_i = 1$
2	Grado de dificultad	Cualitativa Polítómica *Equivalencia a cuantitativa nivel de dificultad de operación (1-5) R. Volumen tejido = 3 R. Modelo = 5 R. Volumen o superficie = 5
3	Nivel de confianza del diseñador para futuros DNP biomédicos.	Cualitativa Nominal Polítómica
4	Grado de empatía para el DNP biomédicos.	Cualitativa Dicotómica Nominal

Fuente: Elaboración propia

de grado a desarrollar; la percepción de los estudiantes sobre el nivel o porcentaje de intervención del trabajo asistido desde el marco de referencia en su proceso de aprendizaje. En el último bloque se realizaron preguntas para indagar sobre el grado de empatía orientada al desarrollo de producto biomédico que esta experiencia generó en los estudiantes.

Limitaciones del estudio: en la Escuela de Diseño Industrial EDI, se encuentran matriculados 320 estudiantes activos, el 16% de los estudiantes están en proyecto de grado I y II; el 20% de los estudiantes de este grupo fueron quienes respondieron la encuesta. Metodología: La entrevista fue realizada de manera virtual mediante la aplicación de formularios de *Google docs* y fue distribuida por medio de correo electrónico. El proceso de recolección de información duró aproximadamente dos semanas. Se evaluó la influencia del modelo propuesto sobre la utilidad y la dificultad del proceso de aprendizaje, así como la percepción del estudiante sobre el nivel de logro en el uso de las herramientas software y la empatía que este proceso generó proyectándose a futuros proyectos de similar índole.

### Marco de referencia propuesto

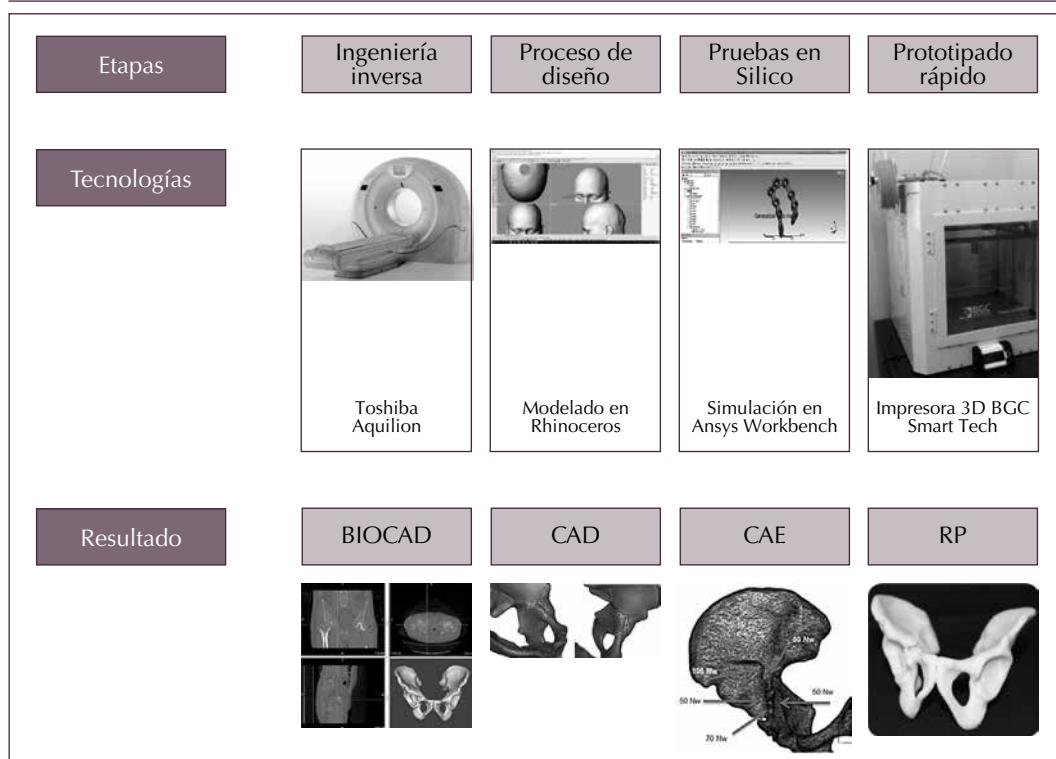
De acuerdo con los enfoques establecidos para la construcción del marco de referencia, relacionados con investigación en diseño, aprendizaje basado en ABP y AOP, talento humano, multidisciplinariedad, y recursos tecnológicos, se definieron cada una de las estrategias como se describe en los siguientes apartados.

### *Estrategias orientadas por el enfoque de investigación en diseño*

Se definió una estructura metodológica que incluyó la implementación de las TIC en el proceso de ideación y definición de DNP biomédicos. Se tomaron como referencia los proyectos previamente desarrollados en el grupo INTERFAZ (Cáceres, 2013); y se ajustó el flujo de trabajo según los lineamientos teóricos identificados en la revisión de literatura. Se tomaron como base los estudios de Diaz Lantada (2013), Wang y cols (2012) y Défosssez (2013).

El proceso de DNP quedó conformado por las etapas de ingeniería inversa sustentado por herramientas BioCAD; un proceso alterno que consistió en el prototipado rápido cuyo entregable fueron las impresiones 3D; el proceso de diseño soportado por herramientas CAD; y un proceso de verificación por simulación estática o In Silico test donde se requiere el uso de software CAE. El resultado del flujo de trabajo propuesto con las tecnologías BioCAD o RE CAD CAE y RP, se observa en la figura 2 donde se

**Figura 2.** Flujo de trabajo o proceso para la definición de un implante personalizado. Ejemplo de un caso de cadera.



Fuente: elaboración propia.

describen las etapas establecidas dentro de un proceso lineal, así como las tecnologías requeridas y los resultados obtenidos.

Con base en el consenso de la revisión de los artículos sobre el tópico de implantes a medida, dispositivos a medida, o implantes para pacientes específicos, se establecieron las fases y sus requerimientos, las etapas y las actividades que deben llevarse a cabo para el cumplimiento de los requerimientos, ver tabla 3.

**Tabla 3.** Proceso de definición de producto estructurado según requerimientos.

Fase	Requerimiento	Etapa	Actividades
Ideación de producto	Obtención de modelo de referencia	Ingeniería inversa Software BioCAD	Reconstruir un modelo virtual 3D de la sección de tejido óseo por medio de CT (Rotaru, <i>et al.</i> , 2012), (Bagaria, <i>et al.</i> , 2011)
		Prototipado rápido Equipo de impresión 3D FDM	El modelo virtual 3D es impreso en Fused deposition material (FDM), para facilitar el diagnóstico (Rotaru, <i>et al.</i> , 2012); y pre-planeación del proceso quirúrgico (Wang, <i>et al.</i> , 2012).
	Definición del diseño del implante	Definición de requerimientos	Se reúnen los requerimientos con base en el concepto del ortopedista, del fabricante (Cáceres, 2013).
Definición de producto		Modelado CAD Software de diseño	Modelado del implante basado en el modelo óseo virtual 3D los requerimientos de diseño (Williams, <i>et al.</i> , 2006), (Cronskär, 2014)
		Verificación	Verificación de resistencia del modelo y comportamiento en la interfase hueso implante, por medio del análisis de elementos finitos (Halabi, <i>et al.</i> , 2011), (Alcántara, <i>et al.</i> , 2010)
	Prototipado rápido	CAE Software de simulación	Se imprime el modelo del implante en 3D, se verifica su adaptación a la geometría ósea o que va a permitir hacer adecuadamente la reducción de la fractura (Cronskär, <i>et al.</i> , 2012), (Arora, <i>et al.</i> , 2013).

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la revisión de los artículos relacionados con el tópico implantes para pacientes específicos, se definieron los proyectos sobre los cuales es aplicable DNP. Los temas identificados fueron: diseño de implantes a medida (Rotaru, *et al.*, 2012), prótesis a medida (Colombo et al., 2010), diseño de guías quirúrgicas (Lee, *et al.*, 2015), evaluación por simulación del comportamiento biomecánico en la interfase hueso implante (Halabi, *et al.*, 2011). Se conformó un banco de temas de proyectos lo cual puede observarse en la tabla 4.

**Tabla 4.** Banco de temas de proyectos.

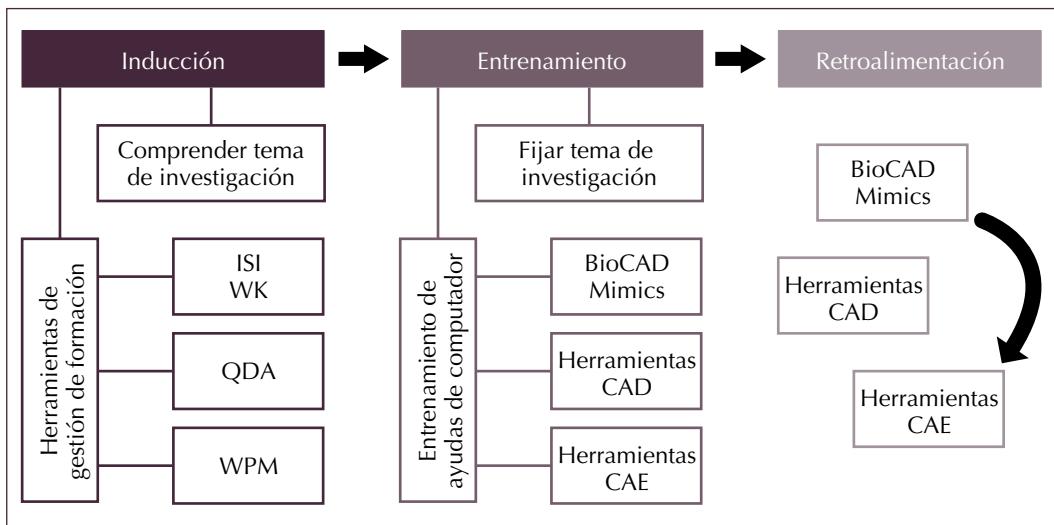
PROYECTOS A DESARROLLAR	TECNOLOGÍA			
	RE	CAD	CAE	RP
Prácticas de referencia en el desarrollo de implantes	X	X	X	X
Diseño de guías quirúrgicas para la fijación de implantes	X	X		X
Desarrollo de un socket para miembro inferior	X	X		X
Diseño de un implante ajustado a la geometría ósea.	X	X	X	X
Desarrollo de instrumental quirúrgico para la fijación de implantes ortopédicos adaptables a la geometría de huesos planos		X	X	X
Ánalysis biomecánico por el método de elementos finitos de interfase hueso implante		X	X	X

Fuente: elaboración propia

#### *Estrategias orientadas al enfoque basado en ABP y AOP*

En contexto, el modelo se diseñó para llevar a cabo proyectos de investigación en diseño, orientado al desarrollo de productos biomédicos, basado en el enfoque constructivista del proceso de enseñanza y el aprendizaje. El modelo se enfocó en la formación de estudiantes que inician el proceso de investigación, en el que se promovió el desarrollo de las capacidades y habilidades de apropiación de herramientas de software de alta tecnología. Se planificó un marco de referencia de enseñanza y aprendizaje fundamentado en la formación básica de estudiantes en investigación, estructurado por medio de un plan de formación. Este se complementó con la enseñanza de los fundamentos del proceso de DNP biomédico por medio de TIC, propuestos para desarrollar habilidades y capacidades específicas, que faciliten implementar un conjunto de prácticas en el uso de software de ingeniería inversa, diseño e ingeniería.

Se formuló un plan de enseñanza, formación y aprendizaje de los estudiantes que ingresan al grupo de investigación. Se elaboró un modelo lineal basado en la progresión y madurez del conocimiento fundamentado en tres fases: inducción, entrenamiento y retroalimentación, como se observa en la figura 3. La primera etapa, llamada inducción, es donde se debe identificar y definir el problema. La segunda etapa, definida como entrenamiento, se identifica e inicia la capacitación en el software requerido para el desarrollo del trabajo de grado. En la tercera etapa, la retroalimentación, los estudiantes comparten las experiencias adquiridas en el desarrollo de su proceso de investigación. Para esto, se implementó una estrategia donde los estudiantes asumieron el rol de formadores de los nuevos miembros del grupo, de esta manera compartieron el conocimiento adquirido y reafirmaron sus conocimientos por medio del proceso de enseñanza/aprendizaje.

**Figura 3.** Modelo de madurez.

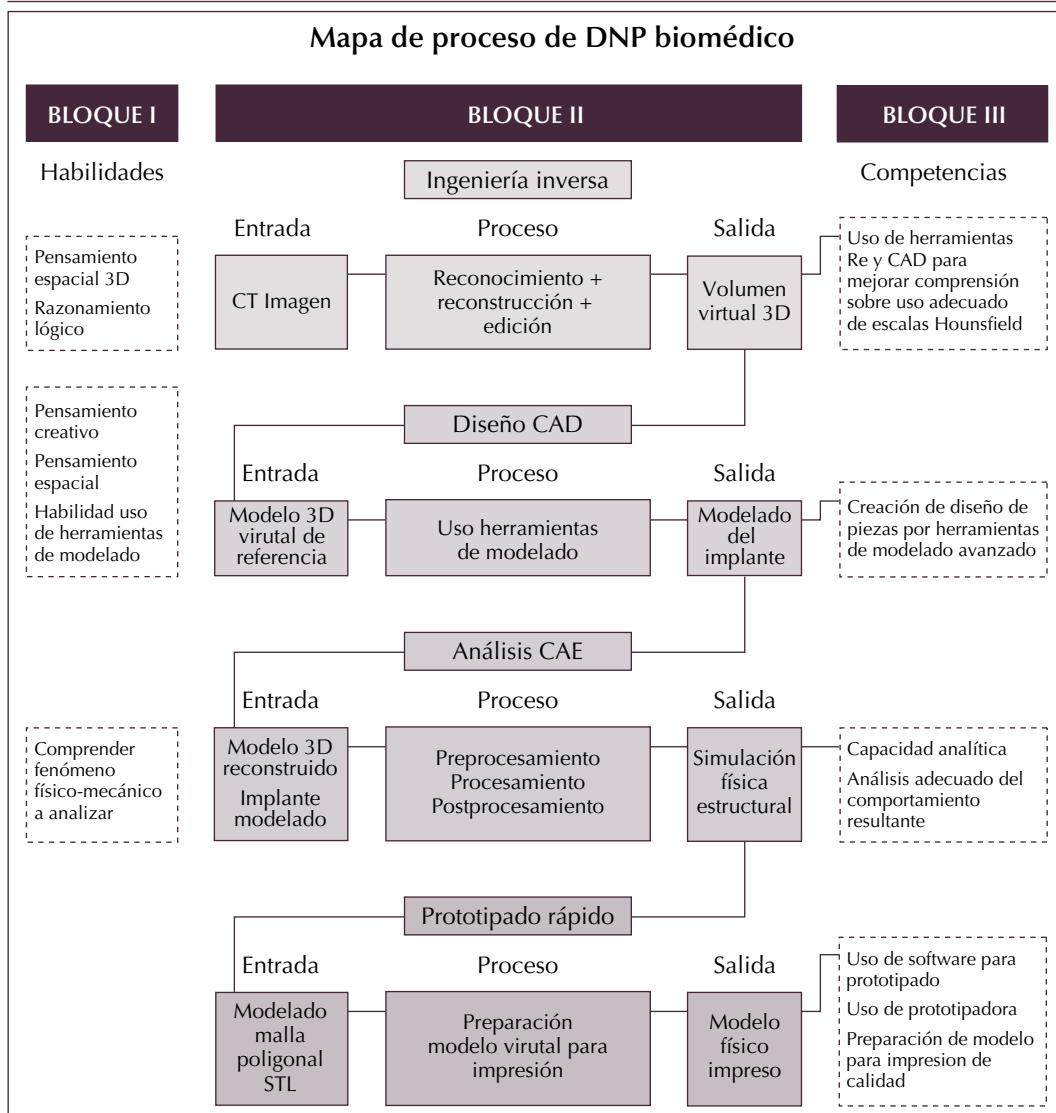
Fuente: elaboración propia.

#### *Estrategias orientadas a la formación y uso de TIC*

Se tomó como referencia el proceso DNP estructurado según requerimientos tabla 3 y los temas del banco de proyectos referenciados en la tabla 4, integrado a la visión de ABP y AOP para definir las estrategias de formación. Con base en lo anterior se establecieron los requerimientos del diseño del modelo orientado a la formación en competencias y habilidades específicas de los estudiantes en el uso de software, correspondiente a cada etapa de desarrollo de producto. De acuerdo al criterio de investigadores, se definieron los requisitos previos, para garantizar que el estudiante tenga la capacidad de asimilar y apropiar los conceptos y desarrolle las habilidades en el uso del software, ver en la figura 4.

En la figura 4 también se observa una configuración del modelo definido por tres bloques. En el primer bloque se establecieron las habilidades requeridas por el estudiante según el software que va a utilizar. En el segundo bloque está estructurado el mapa de procesos del flujo de trabajo de DNP biomédico, se describen los requerimientos de entrada, las actividades a realizar en cada software y en salida los resultados o entregables. En el tercer bloque se establecieron las competencias que se esperan sean adquiridas por los estudiantes una vez ha finalizado su proceso de aprendizaje en el uso del software.

**Figura 4.** Mapa conceptual de requerimientos basado en las habilidades, el flujo de trabajo y competencias a adquirir para el desarrollo de DNP biomédico.



Fuente: elaboración propia.

### *Estrategias orientadas al enfoque multidisciplinario y talento humano*

Se identificaron actores fundamentales en el proceso de DNP biomédicos, clasificándose según su rol como formador –proceso de enseñanza– o como receptor –proceso de aprendizaje–. Los actores identificados como formadores a participar en el proceso de enseñanza son:

- ▶ *Empresario.* Actores con formación en medicina, y/o administración y gerencia, quienes fueron el contacto desde la organización del sector biomédico; por medio de estos actores se reconocen los temas de interés en investigación. Estos actores comparten su visión, experiencia y conocimientos del proceso de fabricación y comportamiento del mercado. El empresario asume un rol como colaborador, expone los principales problemas, limitaciones y desafíos para DNP, los cuales tienen potencial a ser desarrollados por medio de alta tecnología y respaldo científico. El actor colabora o se integra a un equipo multidisciplinario, asumen un rol de evaluador heurístico y en co-creación apoya la toma de decisiones y coopera en aprobación, rechazo o validación de conceptos.
- ▶ *Proveedor.* Actores con formación en ingeniería y diseño, quienes hacen parte del modelo para facilitar el proceso de aprendizaje, asumen su rol como entrenadores de los estudiantes en el uso de software. Los entrenamientos son realizados por medio de eventos como *workshops*, cursos presenciales y asesorías personalizadas.
- ▶ *Grupo de investigación.* INTERFAZ es un grupo de investigación integrado por profesores con formación en maestría y doctorado y estudiantes. Los profesores son actores formadores, especializados en áreas de diseño e ingeniería. Dado que los temas de investigación provienen de la información compartida por la empresa o del conocimiento en el área de investigación por parte del profesor, en el grupo se asume el rol de verificador del impacto y pertinencia científica del tema de investigación a través de un enfoque cualitativo y prospectivo. Una vez definida la pertinencia del tema, se procede a perfilar el tema, para formular un nuevo proyecto de investigación, la consecución de los recursos y la definición de su alcance.

Los actores identificados como receptores en el proceso de enseñanza, fueron los estudiantes, quienes recibieron el acompañamiento en cuanto al uso de las diferentes tecnologías propuestas para el desarrollo de cada uno de los proyectos.

### Implementación del modelo

Una vez definido el marco de referencia y los primeros proyectos sobre los cuales se llevó a cabo este proceso, se realizó el respectivo seguimiento. En la etapa de inducción, los estudiantes asistieron a seminarios dirigidos por el investigador principal. Los temas se enfocaron en el proceso de ideación de productos biomédicos, el uso de herramientas de consulta en bases de datos

científicas como *Web of Science*, *WoS*, –anteriormente llamada *ISI Web of Knowledge*–, y el uso de gestores bibliográficos como Mendeley.

La segunda fase consistió en el desarrollo de la etapa de entrenamiento. Con base en los temas de trabajo de grado estableciéndose la herramienta de software en la que los estudiantes deben iniciar su formación. El proceso de enseñanza tuvo el apoyo de docentes y asesores comerciales, expertos en el uso de las herramientas. Algunos casos, la formación requirió tiempo extraclase de los estudiantes para obtener la certificación en el uso de software. El proceso formativo estuvo orientado al desarrollo de problemas sobre el tópico en el que los estudiantes realizarían su trabajo de grado.

El proceso de enseñanza/aprendizaje de las herramientas de software se fundamentó en una metodología de aprendizaje basada en problemas. Las actividades más importantes en el proceso de investigación, relacionadas con el campo de la biomedicina, fueron: Análisis de imágenes en ingeniería inversa en software BioCAD, seguida por la reconstrucción de tejido óseo; mediante software CAD. Se desarrollaron ejercicios de diseño y modelado de implantes adaptados al modelo de tejido óseo reconstruido. En el aprendizaje de herramientas CAE, se establecieron las condiciones de procesamiento para la simulación mecánica de la interfaz hueso-implante, finalmente, se interpretaron los resultados.

Se realizaron seminarios, donde los estudiantes compartieron la experiencia adquirida. Al final de cada seminario, se dispone de un tiempo para realizar la retroalimentación con los estudiantes, se identifica el nivel de comprensión y aprendizaje alcanzado, las limitaciones encontradas durante la investigación. En este caso, los estudiantes a través de su experiencia asumen el rol de formadores y comparten su conocimiento relacionado con las herramientas de software, con los nuevos miembros del grupo de trabajo.

## Evaluación del modelo

En el presente apartado se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de la aplicación del modelo en los estudiantes que desarrollaron su trabajo de grado sobre investigación en diseño para DNP biomédico para pacientes específicos. De acuerdo con el indicador 1 evaluado en la encuesta, facilitó conocer la percepción del estudiante sobre el aprendizaje en el uso de las herramientas software. El indicador 2 permitió comparar si existió una diferencia en la percepción de la dificultad de aprendizaje de las herramientas por parte de los estudiantes del grupo TI y grupo TAM. El indicador 3 facilitó información sobre el nivel de confianza que adquirió el estudiante para DNP biomédico y el

indicador 4 permitió conocer si el grado de empatía fue mayor en el grupo TAM.

En la tabla 5 se relacionan los datos en un rango de 0 a 1, sobre la percepción de los estudiantes en cuanto al trabajo independiente TI o trabajo asistido por el marco de referencia TAM, según la dinámica llevada a cabo en el proceso de aprendizaje de las herramientas software de cada módulo BioCAD, CAD, CAE y RP.

De acuerdo con la percepción de los estudiantes del grupo TI, tuvo una mayor fortaleza el TI medido en un rango de 0.45 en el módulo CAE y los indicadores más altos de 0.7 a 0.9 en los módulos RP y RE. Por otra parte el aprendizaje acompañado de TAM en los módulos RE CAE y RP aumenta significativamente, según los estudiantes que desarrollaron su proyecto respaldados por el marco de referencia en el módulo RE, el proceso basado en TAM aumentó a un 94%, en CAD en un 10% en el módulo CAE el acompañamiento de enseñanza y aprendizaje se percibió en un aumento del 50% y en el módulo de RP paso de ser un aprendizaje independiente a un aprendizaje en el que se reconoce en un 100% el acompañamiento de los actores en el proceso formativo.

Se comparó la percepción del grado de dificultad de aprendizaje de los estudiantes que realizaron su trabajo en modo TI y TAM, en cada módulo de entrenamiento. En la figura 5 se observa que los estudiantes que desarrollaron su trabajo de grado en modo TAM, barras color rojo, percibieron un menor grado de dificultad en el uso de software, en cada una de las etapas de DNP biomédico, comparado con el grupo TI, barras color azul. En este gráfico no se observa el indicador en RE para los estudiantes TI debido a que este grupo de estudiantes no utilizó herramientas de ingeniería inversa en su proyecto.

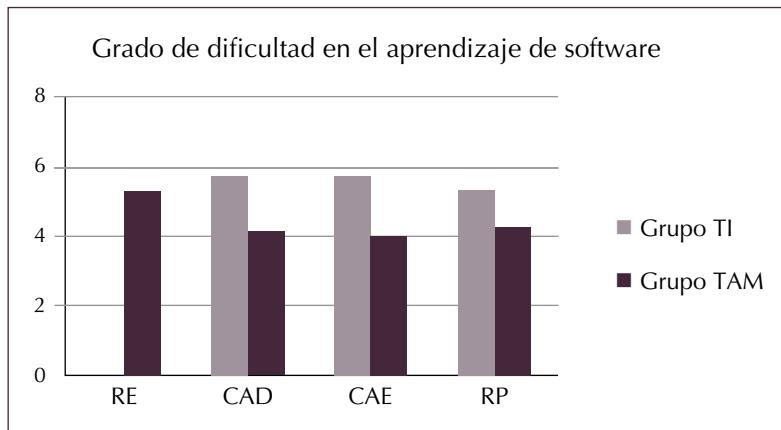
En la figura 6 se observa el indicador 3, sobre la percepción del nivel de confianza que valoraron los estudiantes para el desarrollo de futuros productos biomédicos. Las escalas de valor

**■ Tabla 5.** Indicador 1: percepción de distribución de tiempo de aprendizaje trabajo independiente o TI, y trabajo asistido marco de referencia o TAM.

Ingeniería Inversa		CAD		CAE		Impresión 3D	
Sin modelo	Modelo	Sin modelo	Modelo	Sin modelo	Modelo	Sin modelo	Modelo
TI		TI		TI		TI	
1	0.06	0.7	0.45	0.45	0.25	0.9	0
TAM		TAM		TAM		TAM	
0	0.94	0.3	0.55	0.55	0.75	0.1	1

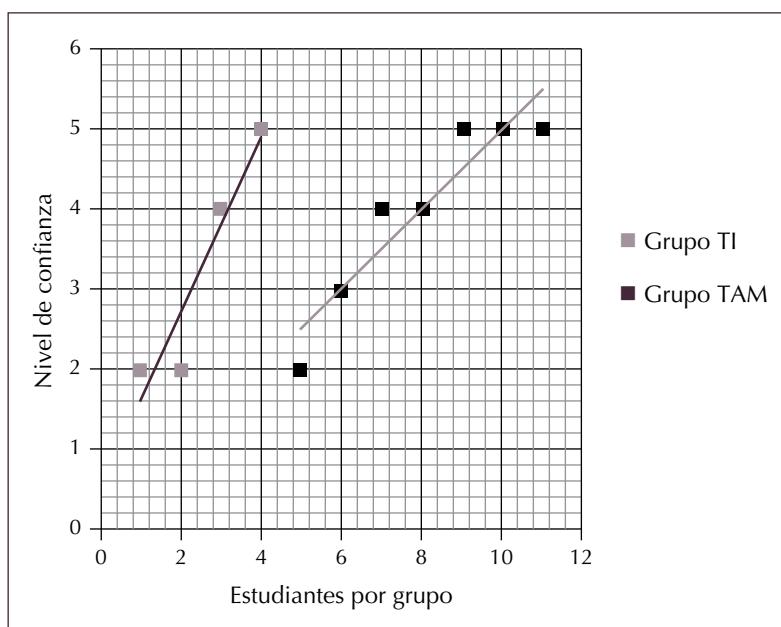
Fuente: elaboración propia.

**Figura 5.** Indicador 2: grado de dificultad en el aprendizaje de las herramientas software de los diferentes módulos RE, CAD, CAE y RP.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 6.** Indicador 3: distribución del nivel de confianza para futuros DNP biomédicos.



Fuente: Elaboración propia.

se establecieron de 1 a 5 puntos y este valor fue establecido de acuerdo al tipo y complejidad de operaciones que los estudiantes manifestaron se sentían en capacidad de realizar, ver tabla 2. Bajo estos criterios, los estudiantes del grupo TI el nivel de confianza

promedio fue de 3.25 puntos; mientras que los estudiantes del grupo TAM en promedio su nivel de confianza fue de 4 puntos.

Con respecto al indicador 4 sobre el grado de empatía con el desarrollo de productos biomédicos el 81.8% de la muestra encuestada, afirmó su interés en continuar desarrollando productos para el sector. En cuanto al análisis por grupos los estudiantes del grupo TI el 50% respondió no estar interesado en continuar con DNP biomédico, mientras que en el grupo TAM el 85.7% de la muestra manifestó su interés de seguir desarrollando productos biomédicos.

### Discusión y conclusiones

A continuación se describen las conclusiones en relación a la definición del marco de referencia basado en los ciclos de inducción entrenamiento y realimentación aplicados en el proceso de formación para el desarrollo de trabajo de grado. En el ciclo de inducción los estudiantes adquirieron las competencias para la búsqueda de artículos científicos referentes al tópico, el uso de software de gestión de la información bibliográfica, formulación de preguntas de investigación, aplicación de técnicas bibliométricas, análisis de contenidos de la literatura y definición de requerimientos, lo que conflujo en competencias cognitivas, metodológicas y tecnológicas.

Referente al ciclo de entrenamiento las estrategias de enseñanza definidas desde el mapa conceptual de la figura 4, permitieron lograr una mejor comprensión sobre cómo abordar el proceso de enseñanza de los estudiantes de acuerdo con el flujo de proceso de definición de producto y el respectivo software a utilizar. La inclusión de actores clave como los proveedores de la tecnología sumada a la información obtenida a partir de la interacción con los expertos, contribuyó en la resolución de dificultades encontradas durante la realización de ejercicios prácticos. En los indicadores de cumplimiento, se observó que los estudiantes adquirieron habilidades y capacidades en la reconstrucción de modelos virtuales 3D, diseño y modelado de implantes y validación mediante simulación.

En el ciclo de retroalimentación, cada estudiante compartió la experiencia con respecto al tema de investigación y la herramienta software en la que se capacitó. Paralelamente, se realizaron seminarios para transferir los conocimientos adquiridos a nuevos integrantes del grupo de investigación. Esta actividad conllevó en el compromiso de los estudiantes a fortalecer sus competencias cognitivas y tecnológicas para transferir su conocimiento a sus compañeros.

Se pudo conocer que por medio de la implementación del modelo medido en el grupo TAM comparado con grupo TI, la

percepción de la dificultad se redujo en promedio hasta en un 12%. Este resultado se puede interpretar también como un desafío para mejorar las estrategias de enseñanza, de modo que a pesar de la dificultad del uso de estas herramientas tecnológicas se puedan apropiar con mayor facilidad y así seguir reduciendo esta percepción en los estudiantes.

Es pertinente analizar la relación entre satisfacción, utilidad y dificultad, en futuros estudios que permitan comprender mejor ese fenómeno, respecto a la dificultad que representa un proceso de aprendizaje con este tipo de herramientas y la satisfacción generada por los estudiantes, en función del proceso de enseñanza asistido o fue proceso de autoaprendizaje.

La estructura y dinámica de competencias propuesta, seguida en el proceso de investigación beneficia a los estudiantes con el entrenamiento en habilidades; a los investigadores, con nuevo recurso humano capacitados en el uso de herramientas de software que apoya la investigación; a los expertos, que cuentan con nuevas aplicaciones viables en base a solicitudes específicas. Debido a la complejidad de la investigación, el entrenamiento práctico es esencial para permitir un proceso de investigación con alto impacto e integración del conocimiento en diferentes etapas de la investigación.

Este modelo puede ser aplicado en semilleros de grupos de investigación, como una estrategia para la obtención de resultados positivos en la integración de conocimiento, resolución de problemas, publicación de artículos y motivación de estudiantes para la apropiación de conocimiento. Del mismo modo, un modelo como el anterior, puede generar una relación a largo plazo con la industria biomédica, basado en la formación de nuevos investigadores que puedan apoyar el proceso de desarrollo de productos.

De acuerdo a los anteriores argumentos, el marco metodológico relacionado dentro de la enseñanza/aprendizaje para obtener capacidades y habilidades en el proceso de ideación y diseño de dispositivos biomédicos, necesita un previo análisis sobre el nivel de exigencia de cada proyecto, por lo tanto, se recomienda, que una vez elegido el tópico de investigación y el alcance, el investigador principal o líder, debe seleccionar las fases que serán incluidas en el proyecto. Y realizar la planeación del proceso de formación de los estudiantes participantes que apoyaran la investigación.

## Referencias

Alcántara, D., Araujo, V., Domínguez, V., *et al.* (2010). Análisis biomecánico de un espaciador para neoplasias de rodilla en función del tamaño de la resección por medio de elementos finitos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 53, 128-134.

Amaral, D., Rozenfeld, H. y Araujo, C. De. (2007). A case study about the product development process evaluation. En Loureiro, G. y Curran, R. (Eds.), *Complex Systems Concurrent Engineering* (pp. 211-218). Londres, RU: Springer-Verlag.

Arora, A., Datarkar, A. N., Borle, R. M., Rai, A. y Adwani, D. G. (2013). Custom-made implant for maxillofacial defects using rapid prototype models. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery : Official Journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 71(2), e104-110. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2012.10.015>

Arras Vota, A. M. de G., Torres Gastelú, C. A. y García Valcárcel Muñoz Repiso, A. (2011). Competencias en Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) de los estudiantes universitarios, 1-26. <https://doi.org/10.4185/RLCS-66-2011-927-130-152>

Baeten, M., Struyven, K. y Dochy, F. (2013). Student-centred teaching methods: Can they optimise students' approaches to learning in professional higher education? *Studies in Educational Evaluation*, 39(1), 14-22.

Bagaria, V., Deshpande, S., Rasalkar, D. D., Kuthe, A. y Paunipagar, B. K. (2011). Use of rapid prototyping and three-dimensional reconstruction modeling in the management of complex fractures. *European Journal of Radiology*, 80(3), 814-820. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.10.007>

Bidarian, S., Bidarian, S. y Davoudi, A. M. (2011). A model for application of ICT in the process of teaching and learning. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*, 29, 1032-1041. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.11.336>

Brault, J. M., Medellin Milán, P., Picón-Núñez, M., *et al.* (2007). Web-Based Teaching of Open-Ended Multidisciplinary Engineering Design Problems. *Education for Chemical Engineers*, 2(1), 1-13. <https://doi.org/10.1205/ece06022>

Bribiescas, F., Macías, L., Lee, H., Barojas, J. y Ramírez, R. (2014). Las competencias del ingeniero biomédico para el desarrollo de instrumental médico. *Culcyt //Bioingeniería*, (52), 52-61.

Cáceres, D. M. (2013). *Desarrollo de un implante ortopédico a la medida, para restauración de fractura de pelvis, basado en la integración de tecnologías BIO-CAD/RP : Estudio de caso*. Santander, ES: Universidad Industrial de Santander.

Cáceres, P. A. y Conejeros, M. L. (2011). Efecto de un modelo de metodología centrada en el aprendizaje sobre el pensamiento crítico, el pensamiento creativo y la capacidad de resolución de problemas en estudiantes con talento académico. *Revista Española de Pedagogía*, (248), 39-56.

Casillas, M., Ramírez, A. y Ortega, J. (2016). Afinidad tecnológica de los estudiantes universitarios. *Innovación Educativa*, 16(70), 151-175.

Chen, C.-Y. y Teng, K.-C. (2011). The design and development of a computerized tool support for conducting senior projects in software engineering education. *Computers & Education*, 56(3), 802-817. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.022>

Clarke, A. y Hubball, H. T. (2001). Physical Education Methods Course as an Immersion Experience in an Elementary Setting. *Avante*, 7(2), 11-27.

Colombo, G., Filippi, S., Rizzi, C. y Rotini, F. (2010). A new design paradigm for the development of custom-fit soft sockets for lower limb prostheses. *Computers in Industry*, 61(6), 513-523. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2010.03.008>

Cronskär, M. (2014). *On Customization of Orthopedic Implants -from Design and Additive Manufacturing to Implementation*. Tesis doctoral, Mid Sweden University.

Cronskär, M., Rännar, L. E. y Bäckström, M. (2012). Implementation of Digital Design and Solid Free-Form Fabrication for Customization of Implants in Trauma Orthopaedics. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 32(2), 91. <https://doi.org/10.5405/jmbe.883>

Défosssez, H. y Serhan, H. (2014). Managing Design Excellence Tools During the Development of New Orthopaedic Implants, 135(November 2013). <https://doi.org/10.1115/1.4025323>

Díaz Lantada, A. (Ed.) (2013). *Handbook on Advanced Design and Manufacturing Technologies for Biomedical Devices*. Nueva York: Springer.

Disla García, Y. I. (2013). Aprendizaje por proyecto: incidencia de la tecnología de la información para desarrollar la competencia de trabajo colaborativo. *Ciencia Y Sociedad*, 38(4), 691-717. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=94958756&lang=es&site=ehost-live>

Du, X., Su, L. y Liu, J. (2013). Developing sustainability curricula using the PBL method in a Chinese context. *Journal of Cleaner Production*, 61, 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.012>

El Halabi, F., Rodriguez, J. F., Rebolledo, L., Hurtós, E. y Doblaré, M. (2011). Mechanical characterization and numerical simulation of polyether-ether-ketone (PEEK) cranial implants. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 4(8), 1819-1832. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2011.05.039>

Espinosa-Mirabet, S. (2015). Un modelo para diseñar aprendizajes mediante proyectos multidisciplinares, *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 13(3), 73-88. Disponible en: <<https://polipapers.upv.es/index.php/REDU/article/view/5420>>.

Fu, C., Hsin, Y., Chang, R.-I. y Hung, S.-H. (2014). Developing a problem-solving learning system to assess the effects of different materials on learning performance and attitudes. *Computers & Education*, 77, 50-66.

Galeana, L. (2004). *Aprendizaje basado en proyectos*. México: Universidad de Colima, 17. Recuperado de <http://ceupromed.ucol.mx/revista/PdfArt/6/26.PDF>

García-Ruiz, R., González Fernández, N. y Contreras Pulido, P. (2014). Competency training in universities via projects and Web 2.0 tools: Analysis of an experience. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC)*, 11(1), 61-75. <https://doi.org/doi.dx.org/10.7238/rusc.v11i1.1713>

González, M. J. (2015). *Diseño de un implante ajustado a la geometría ósea del cráneo, caso de estudio*. Pasantía de investigación. Santander, ES: Universidad Industrial de Santander.

Jareño, F., Jiménez, J. J. y Lagos, G. (2014). Aprendizaje cooperativo en educación superior: diferencias en la percepción de la contribución al grupo. *Universities and Knowledge Society Journal*, 11(112), 70-84. <https://doi.org/10.7238/rusc.v11i2.1936>

Jiménez, J. J., Lagos, M. G. y Jareño, F. (2013). El Aprendizaje Basado en Problemas como instrumento potenciador de las competencias transversales. *Revista Electrónica sobre la Enseñanza de la Economía Pública*, 13, 44-68.

Kluess, D., Souffrant, R., Mittelmeier, W., Wree, A., Schmitz, K.-P. y Bader, R. (2009). A convenient approach for finite-element-analyses of orthopaedic implants in bone contact: modeling and experimental validation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 95(1), 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2009.01.004>

Lee, J.-W., Lim, S.-H., Kim, M.-K. y Kang, S.-H. (2015). Precision of a CAD/CAM-engineered surgical template based on a facebow for orthognathic surgery: an

experiment with a rapid prototyping maxillary model. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 120(6), 684-692. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2015.07.007>

Lehoux, P., Miller, F. A., Hivon, M., Demers-Payette, O. y Urbach, D. R. R. (2013). Clinicians as health technology designers: Two contrasting tales about user involvement in innovation development. *Health Policy and Technology*, 2(3), 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2013.05.003>

Loch, C. y Kavadias, S. (2008). *Handbook of New Product Development Management*. Oxford, RU: Elsevier.

Macías, L., Bribiescas, F., Lee, H., Barojas, J. y Ramírez, R. (2014). Las competencias del diseñador industrial en la industria médica. *Culcyt //Bioingeniería*, 52, 3251.

Mandić, V. y Čosić, P. (2011). Integrated product and process development in collaborative virtual engineering environment. *Technical Gazette*, 18(3), 369-378.

Márquez Lepe, E. y Jiménez-Rodrigo, M. L. (2014). Project-based learning in virtual environments: a case study of a university teaching experience. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 11(1), 76-90. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7238/rusc.v11i1.1762>

Medina, L. A., Okudan, G. E. y Wysk, R. A. (2013). Supporting medical device development: a standard product design process model. *Journal of Engineering Design*, 24(2), 83-119. <https://doi.org/10.1080/09544828.2012.676635>

Ministerio de Salud y Protección Social y INVIMA (2013). *ABC de Dispositivos Médicos*. Bogotá, CO: Imprenta Nacional.

Mujica Rodríguez, A. M. (2012). Aprendizaje por proyectos: Una vía al fortalecimiento de los semilleros de investigación. *Revista Docencia Universitaria*, 13(1), 201-216. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=90571939&lang=es&site=ehost-live>

Rao, R. V., Savsani, V. J. y Vakharia, D. P. (2011). Teaching-learning-based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems. *Computer-Aided Design*, 43(3), 303-315. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.12.015>

Rotaru, H., Stan, H., Florian, I. S., et al. (2012). Cranioplasty with custom-made implants: analyzing the cases of 10 patients. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 70(2), e169-176. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2011.09.036>

Savedra, C. C. J., Muñoz, S. A. I., Antolínez, F. C., Rubiano, M. Y. L. y Puerto, G. A. H. (2015). Semilleros de investigación: desarrollos y desafíos para la formación en pregrado. *Educación Y Educadores*, 18(3), 391-407. <https://doi.org/10.5294/edu.2015.18.3.2>

Sienko, K. H., Sarvestani, A. S. y Grafman, L. (2013). Medical device compendium for the developing world: A new approach in project and service-based learning for engineering graduate students. *Global Journal of Engineering Education*, 15(1), 13-20.

Stinson, J. E. y Milter, R. G. (1996). Problem-based learning in business education: Curriculum design and implementation issues. En L. Wilkerson y W. H. Gijselaers (Eds.), *Bringing problem-based learning to higher education: Theory and practice* (pp. 33-42). San Francisco, CA: Jossey-Bass. <https://doi.org/10.1002/tl.37219966807>

Tobón, S. (2008). *La formación basada en competencias en la educación superior: el enfoque complejo*. México: Universidad Autónoma de Guadalajara.

Ullman, D. (2015). *The mechanical design process*. Nueva York, NY: McGraw-Hill.

Ulrich, K. T. y Eppinger, S. D. (2009). *Product Design and Development*, 4th ed. Nueva York, NY: McGraw Hill.

Villa, A. y Poblete, M. (2007). *Aprendizaje Basado en Competencias. Una propuesta para la evaluación de las competencias genéricas*. Bilbao, ES: Mensajero.

Wang, F. y Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5-23.

Wang, G., Li, J., Khadka, A., Hsu, Y., Li, W. y Hu, J. (2012). CAD/CAM and rapid prototyped titanium for reconstruction of ramus defect and condylar fracture caused by mandibular reduction. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 113(3), 356-361. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2011.03.034>

Wijnia, L., Loyens, S. M. M., van Gog, T., Derous, E. y Schmidt, H. G. (2014). Is there a role for direct instruction in problem-based learning? Comparing student-constructed versus integrated model answers. *Learning and Instruction*, 34, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.07.006>

Wilkin, C. L. (2014). Enhancing the AIS curriculum: Integration of a research-led, problem-based learning task. *Journal of Accounting Education*, 32(2), 185-199.

Williams, R. J., Bibb, R., Eggbeer, D. y Collis, J. (2006). Use of CAD/CAM technology to fabricate a removable partial denture framework. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 96(2), 96-99. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2006.05.029>

Zdravković, M., Trajanović, M., Stojković, M., Mišić, D. y Vitković, N. (2012). A case of using the Semantic Interoperability Framework for custom orthopedic implants manufacturing. *Annual Reviews in Control*, 36(2), 318-326. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2012.09.013>