



**Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI**

Innovación en las facultades de ingeniería:
el cambio para la competitividad y la sostenibilidad

Centro de Convenciones Cartagena de Indias

4 al 7 de octubre de 2016



HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA MODELADO Y SIMULACIÓN HUMANA COMO SOPORTE A LAS ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA DE LA ERGONOMÍA EN LA ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL UIS

**Eddy Alexandra Argüello Bastos, Kelly Johanna Llain Uribe, María Fernanda Maradei García, Javier
Mauricio Martínez Gómez**

**Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia**

Resumen

El presente proyecto tuvo como propósito desarrollar un modelo de utilización de herramientas informáticas para el modelado y simulación humana, como soporte para fortalecer las estrategias de enseñanza de la ergonomía en la escuela de diseño industrial UIS. Para lograr dicho objetivo se implementó una metodología compuesta por 3 fases. La primera de ellas consistió en la revisión y análisis de las herramientas informáticas implementadas en la industria y las estrategias para su enseñanza en la academia. En la segunda fase se desarrolló la conceptualización y propuesta del modelo de enseñanza para su posterior evaluación. Por último, en la tercera fase se realizó una prueba en el aula de clase de Ergonomía de producto del segundo semestre del 2015, con el fin de comparar la estrategia de enseñanza actual con dicho modelo. Como resultados de la evaluación se obtuvo que los promedios de las notas en ambos casos fueron similares, pero estadísticamente se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p\text{-valor}=0,0487$). Por otra parte, una encuesta a los estudiantes permitió conocer que éstos encontraron ventajas en ambas estrategias y consideraron que su implementación debía ser complementaria. Por ello se reformuló el modelo de utilización, en busca de unificarlas y de este modo, llegar a proporcionar a los estudiantes una mejor preparación frente a los nuevos desafíos que propone la industria y la academia.

Palabras clave: digital human modeling; ergonomía de producto; estrategias de enseñanza

Abstract

The aim of this project was to develop an implementation model of informatics tools for modelling and human simulation as a support of the ergonomics teaching strategies in the industrial design school at UIS University. In order to achieve this objective, the authors applied a methodology compound of 3 phases. The first of them, lie in a review and analysis of informatics tools implemented in industry and the strategies for teaching them in academic environments. In the second phase was developed the conceptualization and the proposed of the teaching model for its following assessment. Lastly, in the third phase, was carried out a test with the students of Product Ergonomics in the second semester of 2015, with the purpose of make a comparison between the current teaching plan and the proposed it. As a result of the assessment, was obtained that the average of the grades in both cases were similar, but statistically were found meaningful differences between the evaluated models ($p\text{-value}=0,0487$). On the other hand, a survey allowed to know that students found advantages in both strategies and considered that the two of them might be implemented together. Therefore, the implementation model was reformulated looking for unify the current and the proposed model in order to improve the student's skills towards industry and academic challenges.

Keywords: *digital human modeling; product ergonomics; teaching strategies*

1. Introducción

El creciente interés por la práctica del diseño centrado en el usuario refleja la importancia de la seguridad, usabilidad y el desempeño humano (Demirel & Duffy, 2007). Lo anterior motiva a la academia e industria a entender los factores humanos y la necesidad de integrarlos en el diseño de productos, servicios y experiencias que sean realmente valoradas tanto por los individuos como por la cultura (Stanford, 2007). Así pues, se han desarrollado diferentes herramientas informáticas como soporte a las etapas y validaciones necesarias para el desarrollo de un producto. Dentro de dicho proceso, la ergonomía es un aspecto necesario para la obtención de diseños (de productos o puestos de trabajo) para que sean seguros, confortables y eficientes (Maradei & Espinel, 2009).

Las herramientas informáticas desarrolladas en el marco de la ergonomía son, en su mayoría, aquellas asociadas a la actividad de modelado y simulación humana. Gracias a la invención de softwares que permiten realizar estudios ergonómicos, mediante la aplicación de diferentes métodos de valoración, es posible identificar y mitigar problemas ergonómicos de un producto, puesto de trabajo o tarea en aras de proteger a los usuarios desde las primeras etapas de diseño (Hu, Ma, Salvendy, Chablat, & Bennis, 2011). Adicional a ello, el 90% de todos los errores pueden ser depurados antes de la construcción de un modelo, lo cual refleja una reducción de costos, y a su vez se logra minimizar el gasto de energía, materiales y otros recursos para llevar acabo prototipos y modelos funcionales (Polášek, Bureš, & Šimon, 2014).

Los softwares de modelado humano digital permiten que los diseñadores de productos o procesos entiendan mejor los problemas que una determinada población puede enfrentar cuando interactúa con un diseño propuesto (Zhang & Chaffin, 2006). Debido a ello diferentes universidades a nivel internacional, se han hecho partícipes en la iniciativa de incluir en sus estrategias para la enseñanza de la ergonomía el uso de dichas herramientas, con el fin de continuar actualizando las habilidades técnicas y el conocimiento con los últimos avances científicos y tecnológicos, y así asegurar la competitividad y éxito de los futuros ingenieros (Grimson, 2002).

Sin embargo, en lo que respecta al ámbito nacional, son pocos los programas académicos de Diseño Industrial que en la actualidad hacen uso de dichas herramientas informáticas como soporte a la enseñanza de las asignaturas de ergonomía. Tal es el caso de la Pontificia Universidad Javeriana la cual destina un laboratorio equipado con tecnologías que permiten a los estudiantes realizar estudios para sus proyectos de diseño.

Actualmente la enseñanza de la ergonomía en los estudiantes de diseño industrial de la UIS (EDIUIS) se encuentra dividida en las asignaturas de Ergonomía Física, Ergonomía Cognitiva y Ambiental y Ergonomía de Producto que hacen parte del programa de Diseño Industrial acreditado en la Resolución 6022 de Junio 01 del 2012 por el Ministerio Nacional de Educación (Acreditación, 2012); siendo la última de dichas asignaturas la que busca integrar los conocimientos adquiridos en las aulas de ergonomía anteriores, como se contempla en uno de sus propósitos:

“Relacionar las propiedades cualitativas y cuantitativas de los objetos, con diversos factores estudiados en los cursos de ergonomía anteriores (anatomofisiológicos, antropométricos, psicológicos, sociocultural y ambiental)”.

Del mismo modo, la asignatura busca desenvolver una actitud profesional en cuanto al desarrollo de un estudio ergonómico que permita el diseño de un producto por ello se plantea la integración de softwares asociados al DHM como parte de una estrategia de enseñanza que le permita a los estudiantes alcanzar las competencias evaluadas en el curso y relacionar éstas con las habilidades que el egresado de la EDIUIS debe tener para poder asumir posiciones de dirección, administración y liderazgo en la empresa y la sociedad.

Por todo lo anterior este proyecto busca desarrollar un modelo de utilización de herramientas informáticas para el modelado y simulación humana para fortalecer las estrategias de enseñanza de la Ergonomía de Producto en la escuela de Diseño Industrial UIS, acorde a las competencias y habilidades que el estudiante de la EDIUIS debe adquirir a lo largo de su carrera profesional.

2. Metodología

El proyecto se definió metodológicamente en tres fases con el fin de cumplir el objetivo planteado. La primera de ellas es la fase de Estructuración, donde se realizó una revisión de los softwares existentes en el ámbito del

DHM con el fin realizar una categorización en función de las características y funciones que cada uno de ellos presenta; a partir de esta revisión se eligió el software Tecnomatix Jack de Siemens para ser implementado en el modelo de enseñanza a proponer, debido a que es coherente con las competencias a desarrollar en el curso de ergonomía del producto ya que permite el análisis de herramientas y productos y es uno de los softwares con mayor cantidad de métodos de análisis ergonómicos. Posteriormente, se revisaron las universidades, que a nivel nacional e internacional, hacen uso de ellos en el ámbito de factores humanos, donde se encontró que a nivel internacional se implementan softwares como Tecnomatix JACK, 3DSSPP, y Delmia V5, mientras que en Colombia únicamente la Pontificia Universidad Javeriana implementa softwares de DHM en el laboratorio de ergonomía como herramienta complementaria en los proyectos que realizan los estudiantes.

En la segunda fase denominada Conceptualización del modelo, se analizó y valoró el actual plan de la asignatura de Ergonomía de Producto donde se evidenció que los miembros de la Escuela de Diseño Industrial UIS consideran que los softwares facilitan el quehacer del diseñador ya que son herramientas que complementan el desarrollo de las etapas de un proyecto. Sin embargo, pocos estudiantes y docentes conocen softwares que permiten realizar análisis ergonómicos, los cuales podrían resultar útiles al llevar a cabo talleres prácticos donde se puedan conocer e implementar un mayor número de métodos en poco tiempo. Posteriormente se propuso el modelo de utilización de la nueva estrategia.

Finalmente, en la fase de Evaluación, se analizaron los resultados obtenidos de la implementación de dicha estrategia por medio de una prueba experimental.

3. Modelo de utilización propuesto

Se propuso implementar, en la asignatura Ergonomía de producto, la herramienta de DHM Tecnomatix JACK durante el desarrollo del proyecto correspondiente a la etapa “Experimentación ergonómica” la cual tiene una duración de cuatro clases.

Durante esta etapa se proponen dos talleres los cuales se realizarán con base en los conocimientos adquiridos en las primeras clases de la asignatura y posteriormente, en las clases prácticas con el software. El primero de ellos consiste en la asignación de una situación de uso de una herramienta, por parte del docente, de la cual los estudiantes deberán realizar el estudio de caso que incluye protocolos e hipótesis, que serán comprobadas posteriormente en el segundo taller implementando la herramienta de simulación Tecnomatix JACK.

La entrega del primer trabajo se realiza cuatro clases después de iniciar la etapa “Experimentación ergonómica” y el segundo trabajo, que consiste en las pruebas y análisis ergonómicos, debe ser entregado en la quinta clase.

Dicho proyecto está compuesto por dos partes. La primera consta del planteamiento de hipótesis y la definición del protocolo de la prueba. La segunda consiste propiamente en la experimentación ergonómica, es decir, el

desarrollo de la prueba. A continuación, se establecen las competencias y los porcentajes correspondientes en la nota final de la asignatura (Figura 1):

Figura 1. Experimentación ergonómica: Competencias e indicadores de logros.

Taller 3 Hipótesis y protocolo 20%	1- Competencia	2- Competencia
	Comprende y por tanto es capaz de construir una hipótesis de uso.	Comprende las variables de experimentación y por tanto identifica los instrumentos de medida en función de las hipótesis de uso.
	Indicadores de logro	Indicadores de logro
	<ul style="list-style-type: none"> •Formula hipótesis en función de la situación de uso encontrada. •Establece supuestos de la situación de uso. 	<ul style="list-style-type: none"> •Esquematiza el experimento (Variables y unidad experimental). •Define de forma concreta y clara las variables independientes y dependientes. •Determina en la variable independiente el numero y el tipo de tratamiento a desarrollar en la experimentación. •Define los instrumentos de medida adecuados con base en la variable dependiente previamente definida. •Describe el procedimiento a llevar a cabo acorde al experimento propuesto. •Establece cómo se realizará el análisis de resultados.
Taller 4 Experimentación ergonómica 25%	1- Competencia	2- Competencia
	Relaciona los datos obtenidos de la experimentación con los objetivos de la prueba.	Identifica los elementos de diseño a modificar para obtener un producto ergonómico.
	Indicadores de logro	Indicadores de logro
	<ul style="list-style-type: none"> •Realiza análisis estadísticos con los resultados en función del tipo de dato (dicotómico, politómico, discreto o continuo). •Explica los datos obtenidos de cada una de las variables medidas, siempre orientados a validar o no la hipótesis planteada en el trabajo. La explicación es clara y con gran cantidad de detalles. •Analiza dichos resultados, para esto reúne la información obtenida y la sintetiza según la hipótesis planteada. 	<ul style="list-style-type: none"> •Expresa conclusiones pertinentes al problema planteado. Argumenta sus conclusiones siempre desde el punto de vista del diseño del producto. •Muestra sus hallazgos en tablas, diagramas o mapas conceptuales. Estos son elementos de apoyo a la explicación de los datos. •Maneja un adecuado uso de la ortografía y la gramática.

Planeación de clases

Como fue mencionado anteriormente se propone realizar 3 clases para el aprendizaje del software: Las dos primeras consisten en la comprensión del concepto de modelado y simulación humana, en las cuales se introducirá dicho concepto por medio de una clase magistral y se presentarán las principales herramientas del software JACK. Posteriormente se realizará una clase práctica con la herramienta donde se implemente un estudio de situación corto, y una última jornada donde se aclaren las dudas referentes al proyecto de cada grupo. También podrán realizar consultas en horarios extra clase.

Las animaciones de las situaciones de uso serán realizadas por medio del sistema de animación *Task Simulation Builder (TSB)*, el cual es un complemento de Tecnomatix JACK. El TSB fue seleccionado para realizar las animaciones debido a que éstas son creadas a partir de posturas de cuerpo completo guardadas en la biblioteca, mientras que en el módulo de animación básico de JACK las partes del maniquí deben ser animadas una por una.

Material de apoyo

Los estudiantes recibieron una carpeta de archivos que contiene los manuales básicos en inglés de Tecnomatix Jack y una guía rápida de uso en español creada por los autores del proyecto que contiene la explicación del

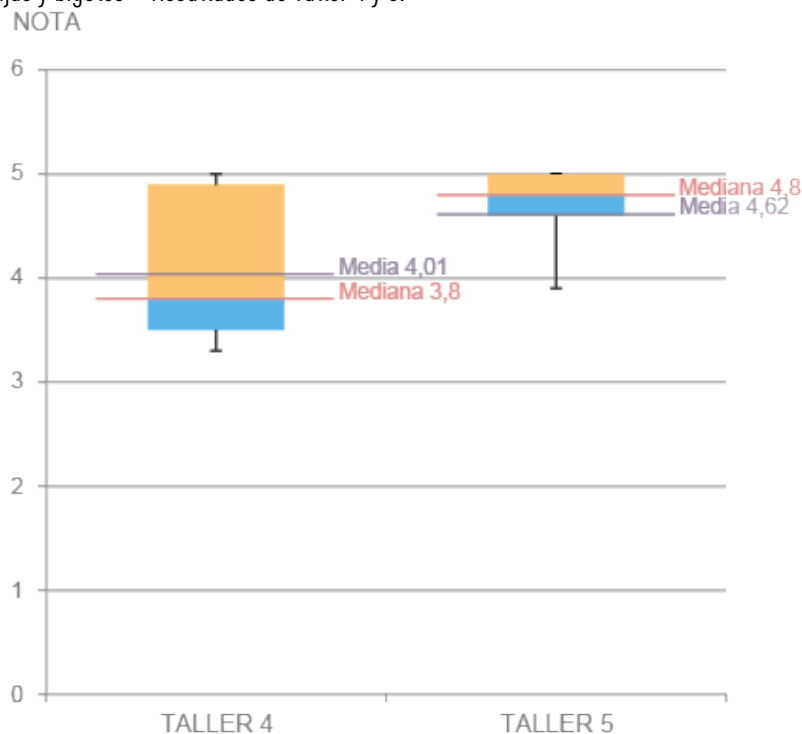
manejo y herramientas básicas de Jack. Del mismo modo cuentan con 9 tutoriales creados por los autores del proyecto con temas básicos del software, creación de animaciones y el análisis ergonómico.

4. Resultados

La prueba fue realizada en la etapa de la asignatura denominada “Experimentación ergonómica” para ello se planteó que los estudiantes realizaran el taller con las dos variables propuestas: con DHM (Taller 4) y sin DHM (Taller 5). El grupo se dividió en dos (Dos grupos de cinco estudiantes) para realizar un estudio cruzado, de esta manera, el primero inició el desarrollo del proyecto con la herramienta JACK y el segundo con la estrategia actual de elaboración de modelos y prototipos

Al finalizar la prueba experimental se obtuvieron las notas de los talleres 4 y 5 donde se evaluó el modelo de enseñanza propuesto frente a la estrategia que es implementada actualmente, la cual consiste en la experimentación por medio de la medición directa. En ésta se obtuvo que los promedios de las notas de las dos estrategias fueron superiores a 4.0. Como se muestra a continuación (Figura 2):

Figura 2. Gráfico de cajas y bigotes – Resultados de Taller 4 y 5.



Sin embargo, un análisis de varianza mostró que existía una diferencia significativa entre las calificaciones de acuerdo con la estrategia que se implementara. Debido a lo anterior y para tener un panorama más completo de la prueba, se llevó a cabo un análisis de las notas obtenidas por indicador de logro, lo que mostró que dos de éstos (Indicador 1 y 5), los cuales no estaban directamente relacionados con la estrategia implementada,

eran los que presentaban una diferencia significativa entre sus datos. A continuación, se presentan los indicadores y el promedio de notas obtenido (Figura 3):

Figura 3. Promedios de las notas obtenidas por los estudiantes de Ergonomía de producto en cada indicador de logro.

INDICADOR DE LOGRO	PORCENTAJE	NOTA TALLER 4 (cDHM)	NOTA TALLER 5 (sDHM)
1. Realiza análisis estadísticos con los resultados en función del tipo de dato (dicotómico, politómico, discreto o continuo)	10 %	3,89	4,78
2. Explica los datos obtenidos de cada una de las variables medidas, siempre orientados a validar o no la hipótesis planteada en el trabajo. La explicación es clara y con gran cantidad de detalles	25 %	4,33	4,49
3. Analiza dichos resultados, para esto reúne la información obtenida y la sintetiza según la hipótesis planteada. La síntesis es escrita y puede apoyarse de infografías	30 %	3,78	4,56
4. Expresa conclusiones pertinentes al problema planteado. Argumenta sus conclusiones siempre desde el punto de vista del diseño del producto	15 %	4,56	5
5. Muestra sus hallazgos en tablas, diagramas o mapas conceptuales. Estos son elementos de apoyo a la explicación de los datos	10 %	2,89	4,44
6. Maneja un adecuado uso de la ortografía y la gramática	10 %	4,54	4,89

En lo que respecta al estudio cruzado, se determinó por medio del análisis ANOVA que no hubo diferencias significativas entre los dos grupos de estudiantes, es decir, la etapa en la cual se aplicó cada estrategia no influyó en las notas alcanzadas.

Por medio de una encuesta realizada a los participantes de la prueba se conoció que para éstos ambas estrategias tienen fortalezas que pueden ser aprovechadas en el desarrollo de un proyecto, y al ser aplicadas en conjunto se podrían contrarrestar las limitaciones que se presenten. Se puede inferir de las respuestas obtenidas, y con base en las ventajas y desventajas planteadas, que una estrategia no debería reemplazar a la otra. Del mismo modo, se considera que la selección para implementar una u otra estrategia depende de la problemática que se plantee o la etapa del proceso de diseño o rediseño que se esté llevando a cabo. Se requiere conservar el trabajo de campo que el diseñador realiza, ya que existen ciertos factores que sólo pueden tenerse en cuenta por medio de la observación, y de la misma forma, implementar el software de DHM como complemento y soporte a las actividades que se realicen.

Para finalizar, con base en la prueba experimental realizada y los resultados obtenidos, se realizó la reformulación del modelo de utilización de herramientas informáticas para el modelado y simulación humana, el cual pretende involucrar las herramientas de DHM junto con el método de medición directa en busca de fortalecer las estrategias de enseñanza de la ergonomía en la escuela de diseño industrial UIS.

Reformulación del modelo de utilización

Para el ajuste del modelo de utilización se modificaron el número clases puesto que se propone realizar 4 y no 3 como se había planteado de manera inicial, ya que resulta necesario que los estudiantes tengan conocimiento previo sobre algunos fundamentos teóricos, como por ejemplo, los métodos de análisis ergonómico, instrumentos de medición, entre otros, antes de comenzar a trabajar con el software.

Figura 4. Cronograma del modelo de utilización propuesto.

CLASE	Objetivo	Tema a tratar	Actividad
Clase # 1	Conceptualizar sobre las diferentes herramientas de medida en ergonomía	Autorreportes, observacional, directa	Clase magistral conceptos teóricos.
Clase # 2	Comprende el concepto de modelado y simulación humana	Concepto de modelo introducción a la modelado y simulado humana presentación del software jack	Clase magistral con el software Jack. Propuesta Taller práctico 3
Clase # 3			Clase práctica con el software Jack. Propuesta taller práctico 4.
Clase # 4	Consolidar los conceptos adquiridos sobre el diseño experimental en ergonomía	Métodos de análisis ergonómico en el software Jack.	Clase práctica con el software Jack. Solución de dudas sobre el taller 4.
	Consolidar el procedimiento para realizar una experimentación	Experimentación ergonómica	Entrega del trabajo escrito del taller práctico 3.

La primera clase se planteó como una clase magistral para presentar las principales herramientas del software. La segunda y tercera fueron propuestas a modo de clases prácticas en las cuales se conocerá el software y se trabajará un estudio de caso con el módulo de simulación *Task Simulation Builder (TSB)*. En último lugar, la cuarta clase fue destinada a la resolución de dudas sobre la actividad elegida por cada grupo para el trabajo de "Experimentación ergonómica" y para trabajar estudios de caso cortos con el fin de conocer el funcionamiento de los otros tipos de análisis ergonómico.

5. Conclusiones

El estudio permitió llegar a la formulación y posterior reajuste del modelo de utilización de herramientas informáticas para el modelado y simulación humana, el cual pretende involucrar las herramientas de DHM junto con el método de medición directa en busca de fortalecer las estrategias de enseñanza de la ergonomía en la escuela de diseño industrial UIS.

Se encontró que el software Tecnomatix Jack en su versión 8.2 era el más apropiado para ser implementado, ya que éste permite realizar análisis de productos, herramientas y puestos de trabajo. Adicionalmente, al ser comparado con otros programas de DHM, se identificó que cuenta con un número mayor de herramientas para análisis ergonómico, las cuales pueden ser utilizadas dentro de los proyectos del aula de Ergonomía de producto así como en asignaturas y proyectos posteriores.

Dentro de las limitantes que surgieron en el desarrollo estudio, está el hecho de que la prueba experimental se realizó con una versión de prueba del software, la cual presentaba algunos errores y en algunos casos dificultó la labor de los estudiantes del curso de Ergonomía de producto. Sin embargo, fue posible solucionar las dificultades encontradas y obtener resultados satisfactorios.

Finalmente, se realiza la invitación a los docentes de ergonomía para conocer el funcionamiento de este tipo de herramientas con el fin de que en un futuro próximo se puedan llegar a implementar tanto en sus aulas de clase como en el desarrollo de diferentes proyectos tanto en la EDIUIS como fuera de ella.

6. Referencias

- Acreditación, C. N. d. (2012). *Resolución 6022, 2012-06-01*. Retrieved from <http://menweb.mineducacion.gov.co/cna/Buscador/FortalezasProg.php?Id=684>
- Demirel, O. H., & Duffy, V. G. (2007). Applications of Digital Human Modeling in Industry. In V. G. Duffy (Ed.), *Digital Human Modeling* (Vol. 4561, pp. 824 -832): Springer Berlin Heidelberg.
- Grimson, J. (2002). Re-Engineering the Curriculum for the 21st Century *European Journal of Engineering Education*, 27, 31 - 37.

- Hu, B., Ma, L., Salvendy, G., Chablat, D., & Bennis, F. (2011). Predicting real-World ergonomic measurements by simulation in a virtual environment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41, 64-71.
- Maradei, M. F., & Espinel, F. M. (2009). *Ergonomía para el diseño*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Polášek, P., Bureš, M., & Šimon, M. (2014). *Comparison of Digital Tools for Ergonomics in Practice*. Paper presented at the 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM2014, Viena, Austria.
- Stanford. (2007). Human Centered Design. Retrieved from <https://me.stanford.edu/research/research-theme-design>
- Zhang, X., & Chaffin, D. (2006). Digital human modeling for computer-aided ergonomics. In W. MARRAS & W. KARWOWSKI (Eds.), *Interventions, Controls, and Applications in Occupational Ergonomics* (pp. 10-11 - 10-16).

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2016 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)