

La Importancia De Las Ayudas Informáticas Para Los Análisis Ergonómicos En El Diseño Industrial.

Caso: la implementación de la silla sit-stand para las cajas de supermercado en el estado de Quebec - Canadá.

Alvaro Enrique Diaz

*Profesor cátedra, Universidad de Montreal, Canadá. Escuela de Diseño Industrial. alvaro.diaz@umontreal.ca
Presidente Agencia Bee-Design, Montréal, Canadá, www.beedesign.ca, alvaro@beedesign.ca*

Abstract. El diseño industrial está estrechamente relacionado con las necesidades de los diferentes utilizadores (clientes) y con el desarrollo de nuevos productos; en este proceso para llegar a los resultados esperados, el diseñador debe establecer las soluciones que deben satisfacer las necesidades encontradas. Para llegar a los objetivos, el producto debe ser pasado por diversas validaciones y verificaciones. Los análisis ergonómicos hacen parte de estas fases en el desarrollo de un proyecto.

Diferentes tipos de ayudas son utilizadas para efectuar estas verificaciones y validaciones: maquetas, dibujos, prototipos y el DAO , entre otros.

La integración del conocimiento ergonómico en este proceso de diseño, al igual que la integración del DAO, es una problemática que, cada día, los investigadores tratan de solucionar de la manera más apropiada. Algunos programas informáticos, llamados expertos, son frecuentemente utilizados en los análisis ergonómicos con maniquís virtuales.

En los supermercados del Estado de Quebec, se está integrando una silla sit-stand, para esta implementación, se necesitó de ayudas informáticas, pero debido al presupuesto del gobierno, estas ayudas debieron ser básicas.

En esta ponencia se establecerán los pros y contras de utilizar este tipo de ayudas, mostrando cuatro proyectos en los cuales se utilizaron diferentes tipos de ayudas tecnológicas.

Palabras claves. Concepción Asistida por Computador, Ergonomía Asistida por Computador, diseño industrial, ergonomía, silla sit-stand, proceso de diseño.

Introducción

El objetivo principal de esta investigación, es analizar la utilización de las ayudas informáticas en algunas etapas durante el proceso de diseño, y más específicamente en los análisis ergonómicos. Al mismo tiempo, se recurrió a un proyecto en el cual tres grupos de investigación hicieron parte en los análisis, utilizando diferentes técnicas. El proyecto era el de la implementación de la silla sit-stand en los supermercados de Quebec. El otro proyecto es un ejemplo de donde las ayudas informáticas son indispensables.

El primer caso, fue efectuado por la ergónoma Marie Laberge y el grupo de investigación CINBIOSE¹, sobre la posible utilización de un apoyo para las cajas de supermercado en la provincia de Quebec. Esta investigación fue realizada según un enfoque tradicional, con el mínimo de ayudas informáticas. El segundo caso, fue realizado por el Grupo 3D² sobre los criterios de amoblamiento en los puestos de trabajo para cajas de supermercado en la provincia de Quebec. Vamos a llamar este tipo de enfoque de tipo "híbrido" según las ayudas informáticas que fueron utilizadas en el análisis ergonómico. El tercer estudio se basó sobre la utilización de una silla sit-stand, pero en este caso fue una investigación financiada por Stokke Inc.³, la empresa que diseñó el producto, y realizada por INERMAP. En este caso, la utilización de las ayudas informáticas fueron indispensables para

¹ Centro de estudios de las interacciones biológicas entre la salud y el medio ambiente, UQÀM (Universidad de Quebec en Montreal).

² Laboratorio de investigación aplicada al diseño y la ergonomía.

³ Compañía Noruega fundada en 1932, se especializa en la fabricación de muebles ergonómicos.

alcanzar los objetivos de investigación. Finalmente, el cuarto estudio es un análisis realizado por el SED⁴, el cual se enfoca sobre las sillas para automóvil y la relación entre la presión que deja el cuerpo humano sobre las sillas.

Problemática CAC⁵ – Proceso De Diseño

Desde hace 25 años, los sistemas informáticos se han introducido en el proceso de diseño. De esta manera, los análisis ergonómicos pueden obtener ayuda mucho mas extensa, además de maquetas, prototipos, dibujos, etc. Las ayudas informáticas contribuyen a estos análisis.

La utilización de estas ayudas, permite omitir algunos modelos físicos que al mismo tiempo podrían reducir costos y ganar tiempo en el proceso de diseño. Pero esta “nueva manera” de concebir productos, ha llevado a descubrir algunas lagunas que los informáticos no habían tenido en cuenta. Problemas de tipo cognitivo, por ejemplo, sobre el trabajo en diferentes escalas con un modelo virtual. Igualmente, aunque un modelo digital puede aumentar considerablemente el presupuesto de un proyecto, sobre todo en las primeras fases de creación, se estima que durante el proceso de diseño los modelos digitales pueden devolver una parte de la inversión monetaria y temporal. (ver imagen 1)

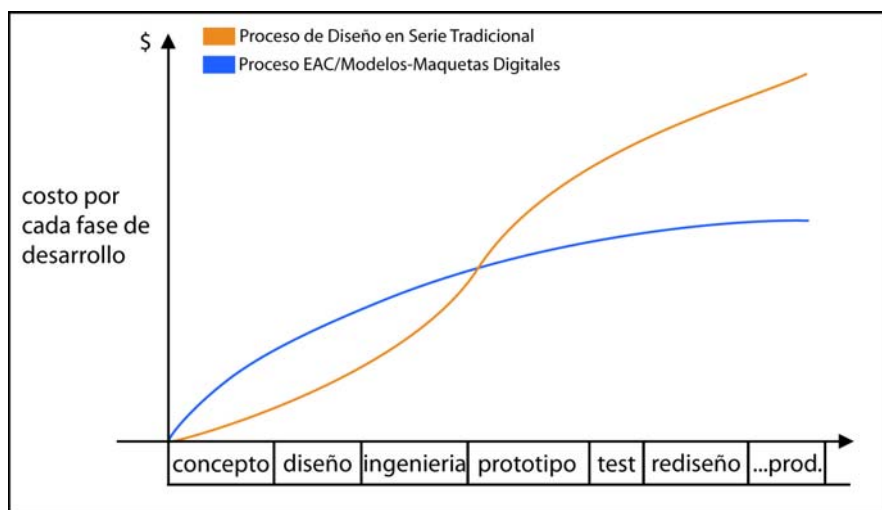


Imagen 1: Fases de desarrollo de nuevos productos e hipotéticos costos cuando se utiliza los modelos digitales (con simulación humana). Los modelos digitales en las primeras etapas del desarrollo tienden a necesitar más inversión, lo cual incrementa la producción del prototipo y los costos en los test. Después de las primeras etapas, el modelo digital podría ser mas regular⁶.

Como hemos podido constatarlo, en las etapas de concepción, el diseñador trabaja en diferentes ambientes: en un mundo virtual, en un mundo real o, en algunos casos, en un mundo que llamaremos “hibrido”. Estos ambientes “hibridos”, serán los que se basan en ayudas informáticas, pero sin explotar al cien por ciento el mundo digital. Cualquiera de estos tres ambientes, es realizado dependiendo de los diferentes objetivos trazados en los análisis ergonómicos.

Un ambiente real nos da el poder de realizar análisis ergonómicos exhaustivos? Un ambiente virtual es la solución a los problemas que encontramos? Un ambiente “hibrido” podría ser una solución viable en los análisis ergonómicos que se realizan en la industria? Dorta y De Paoli han estudiado estos temas en la arquitectura, pero cual es el lugar de la CAC en los análisis ergonómicos en el diseño industrial?

Estudio De Casos: Posición de pie – sentado (sit – stand)

En 1989, la CSST⁷ en la provincia de Quebec, recibe los primeros avisos del sindicato de la cadena de almacenes Provigo, en los cuales hacen referencia de quejas recibidas por las cajeras de los

⁴ Evaluación y Diseño de Sillas (*Seat Evaluation and Design*) Universidad de Loughborough.

⁵ Concepción Asistida por Computador.

⁶ Fuente Imagen Don B. Chaffin, " On simulating Human Reach Motions for Ergonomics Analyses ", Proceedings of the International Conference on Computer-Aided Ergonomics and Safety CAES 2001, Maui, Karwowski, W.; Mondelo, P. ; Das, B.; Mattila, M., 2001.

⁷ Comisión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

supermercados, sobre algunos dolores en las extremidades inferiores. Algunas hipótesis enfocan las causas de los dolores sobre los posibles problemas muculo-esqueléticos que puede traer la posición "de pie" de las cajeras de supermercado.

Esta posición según los investigadores que se unen al proyecto, es una posición de riesgo para la salud, aunque el esfuerzo es menos evidente y no produce efectos visibles en corto tiempo.

La posición "de pie" obligadamente e inmóvil es observada en dos de las cinco primeras profesiones de las canadienses, que son vendedoras y cajeras, lo que representan 8.7% de las trabajadoras canadienses.

A diferencia de algunos países en Europa o en América Latina, donde las cajeras están sentadas sobre butacos, sillas giratorias o simplemente sillas estáticas, en Norte-América las cajeras están en posición "de pie". Esto se debe en algunos casos, debido a que la actividad de la cajera no se limita a pasar los productos por el scanner y a facturar. En muchas ocasiones, las cajeras debe empacar los productos, lo que ocasiona que su zona de alcance sea mas variable, o mejor aún, que su zona de alcance llegue a unas zonas mas alejadas del eje central de una silla, que una cajera que solo efectue la actividad de pasar los productos y facturar.

Caso 1 : Estudio ergonómico del puesto de trabajo de una cajera de supermercado: utilizar la silla sit-stand. Marie Laberge⁸ en asocio con CINBIOSE-UQÀM.

Desde los comienzos de los años 90's, las investigaciones sobre los puestos de trabajo de las cajeras de supermercado, se enfocan sobre la implementación de una silla sit-stand en estos puestos.

El grupo CINBIOSE propone un proyecto de investigación liderado por la Dra. Vézina⁹ (Vézina et Courville, 1989; Vézina et coll.; 1993), que junto a Laberge, elaboran protocolos de análisis ergonómicos para establecer los parámetros necesarios para la implementación de la silla alemana *Stitz* (Imagen 2 y 3), que habia sido escogida en investigaciones anteriores por el mismo grupo de trabajo. Con este estudio, Laberge se orienta hacia "un ensayo de la nueva posición sit-stand"¹⁰

Con la utilización de esta silla, se nota una disminución de los síntomas, tanto en la región cérico braquial, como en los miembros inferiores. Los test son efectuados por ergónomos en algunos supermercados alejados de Montreal, ya que la logística no es fácil, debido a que todo esto debe ser efectuado con los sindicatos de dichos establecimientos. En ocasiones hay que trasladarse a 10 horas de ruta para llegar a un supermercado hacer algunos test con cajeras, y luego devolverse a hacer la compilación de datos. (Ver Imagen 4.)

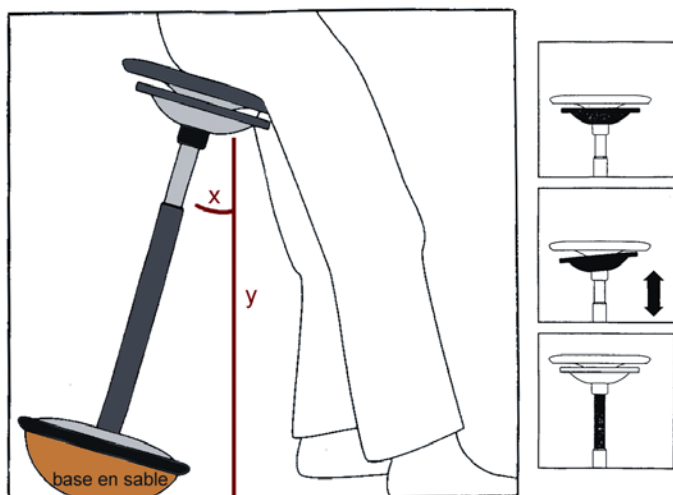


Imagen 2 Silla Stitz¹¹ (dibujo adaptado por el autor)

⁸ Tesis presentada como exigencia parcial de la maestría en Biología, Universidad de Quebec en Montreal, Octubre 1997.

⁹ La Dra Nicole Vézina colabora en las actividades del grupo CINBIOSE desde el año 1980 y particularmente a los grupos de investigación-acción en Biología del trabajo (GRABIT). Actualmente es la responsable de la Maestría Profesional en Ergonomía del departamento de Kinanthropología de la Universidad de Quebec en Montreal.

¹⁰ Marie Laberge, *Ibid.*, p. 2.

¹¹ Fuente: Servicio de salud, seguridad y medio ambiente CSN (Confederación de Sindicatos Nacionales), Anexo Descripción y funcionamiento del banco sit-stand STITZ, Montreal, 3 de Septiembre de 1998.



Imagen 3 Silla Stitz con las alturas variables¹² (dibujo adaptado por el autor)



Imagen 4 Fotos de la Silla con su posición espacial¹³

En este estudio, los investigadores utilizaron el programa informático Kronos, que ayuda a analizar las actividades realizadas durante un periodo de tiempo.

El presupuesto del proyecto, no alcanzaba para adquirir otras ayudas informáticas, aunque posteriormente se supo que la Universidad contaba con receptores de movimiento, pero en otro departamento e igualmente se requería de una formación y experiencia espacial, que no tenían los participantes de este proyecto.

Un plano del puesto de trabajo o toma de fotografías, no fueron la manera más apropiada para el análisis, por la complejidad de los datos a obtener y la logística del proyecto, hubiera sido interesante la utilización de alguna ayuda informática, de dibujo por computador.

"Cualquier ayuda en la cual hubieramos podido cambiar *virtualmente* las medidas de las cajas nos hubiera ahorrado tiempo y energía" Dra. Nicole Vézina.

¹² Fuente: Office of Design – Australia.

http://www.citeofficedesign.com.au/product_detail.asp?prodID=57&catBrandID=CB14

¹³ Fuente : Fotos tomadas y modificadas por el autor.

Caso 2 : Parámetros para el diseño de puestos de trabajo para cajeras de supermercado. Trabajo del grupo 3D – UQÀM en asocio con la CSST.

Los objetivos de esta investigación son los siguientes : confirmar la presencia de los principales problemas musculoesqueléticos; identificar las soluciones para disminuir estos problemas y establecer las características físicas del ambiente de trabajo para facilitar la integración de la silla sit-stand en diferentes puestos de trabajo.

Las ayudas informáticas que utilizaron fueron: el programa Drawing Board 1.0 con el cual realizaron los planos y para las simulaciones se utilizaron los programas Mannequin87 y QuarkXpress. Porque utilizar un programa de "diagramación" para las simulaciones? la respuesta es simplemente que necesitaban un programa para poner en un mismo ambiente, los maniquís con los planos del puesto de trabajo. Los maniquís fueron desarrollados en un ambiente 3D, pero cuando fueron exportados, fueron puestos en un ambiente 2D. Según los objetivos trazados en esta investigación, los análisis en un ambiente 2D resultaban satisfactorios y se dejaban de lado los análisis en un ambiente 3D-virtual, debido a los posibles costos y a la complejidad en el manejo de datos.

Los puntos interesantes, con respecto a estos ambientes virtuales son, que aunque las posiciones de las cajeras eran correctas, debido a que las diferentes vistas (superior, frontal, lateral) eran perpendiculares a los ejes XY, ocasionan importantes lagunas en la información, situados en otros ejes (X, Y, Z).(ver Imagen 5).

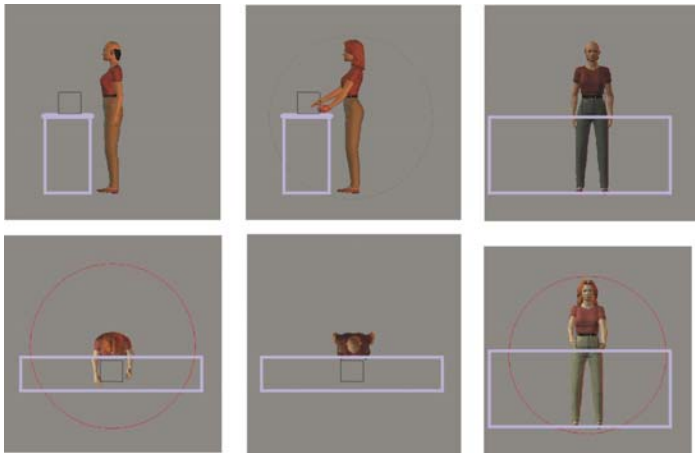


Imagen 5 Dibujos de las posiciones analizadas por el grupo de investigación¹⁴

Las posiciones son exactamente perpendiculares a la cámara utilizada y los análisis son hechos según estos puntos de vista, al mismo tiempo que los movimientos de las cajeras no serán nunca exactamente simétricos.

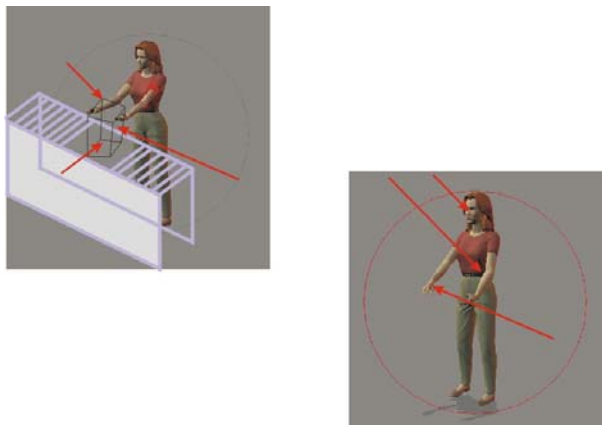


Imagen 6 Dibujos de las posiciones olvidadas por el grupo de investigación¹⁵

¹⁴ Fuente: Dibujos realizados por el autor con el programa Poser 4.0.

¹⁵ Fuente: Dibujos realizados por el autor con el programa Poser 4.0.

En la realidad, los productos no son exactamente perpendiculares sobre el plano que realizamos la mayoría de los análisis y en su mayoría, los productos no son perpendiculares a los ejes establecidos por el cuerpo humano. (ver Imagen 6)

Se muestra la necesidad de observar un ambiente 3D donde se desarrolla la actividad, sin limitarnos a un ambiente 2D que deja de lado una información esencial. Hay autores, que constatan que la realidad de un objeto "no es totalmente contenida en las tres dimensiones de la perspectiva, para tenerla integralmente, se necesitaría dibujar un número infinito de perspectivas según un número infinito de puntos de vista. Además de otro elemento, que se une al ambiente 3D tradicional, que son los desplazamientos sucesivos del ángulo visual."¹⁶

Para contrarrestar este problema, hay investigadores que sugieren la utilización de la realidad virtual, donde utilizan maniqués reales, pero en un mundo virtual, con el objetivo de analizar realmente las acciones de estos maniqués.

El contexto en el cual la persona cohabita, según la ergonomía, se vuelve la interacción del ser humano con su contexto, teniendo en cuenta su desarrollo físico y psicológico. Según esta visión ergonómica, el hombre no se encuentra solo en su mundo y este mundo tiene cualidades que tal vez no se podrían reemplazar virtualmente.

Caso 3 : Estudio ergonómico de la silla "move" de Stokke. Trabajo realizado por el instituto de ergonomía INERMAP¹⁷.

El objetivo era de realizar un estudio biomecánico de las posturas y de los movimientos para determinar las características ergonómicas de la silla Move (Imagen 7).



Imagen 7 Silla Move izquierda para adulto, derecha para niño (dibujo adaptado por el autor).¹⁸

Para alcanzar los objetivos fijados, se trabajó con la ayuda informática de VICON (Video Convertor), con el cual se efectuaron los análisis de posturas y los movimientos de los usuarios (ángulos de posicionamiento, actividad electromagnética, zonas de alcance, etc). Este programa es utilizado por la medicina deportiva, ya que el enfoque es puramente biomecánico. (Imagen 8)

¹⁶ Bruno Zevi, Apprendre à voir l'architecture, Paris, Las Ediciones de Minuit, 1959, tomado en Tomás Dorta, Realidad Virtual, visualización y proceso de concepción, tesis de Maestría, Universidad de Montreal, Facultad del Hábitat, Montreal, 1994, p.2.

¹⁷ General Motors ESPAÑA,S.A. y Fundación MAPFRE, crearon el INSTITUTO DE ERGONOMIA MAPFRE, S.A. INERMAP.

¹⁸ Fuente : Catálogo Silla Move, Stokke – *Makes life worth sitting.*



Imagen 8 Ejemplos de análisis efectuados en la medicina deportiva con el sistema VICON.¹⁹

La forma en que trabaja el sistema es mediante unas cámaras infrarojas y unos marcadores que reflejan la radiación localizada sobre las diferentes partes del cuerpo, y con componentes externos, se puede grabar la actividad muscular para poder sincronizar el tipo de actividad con el movimiento específico. Un ejemplo de como funciona el sistema es la Imagen 9, en la cual podemos observar a la izquierda una figura 3D de tres extremidades durante el descenso de cuatro marchas de escalera. En la derecha podemos observar el diagrama de un vector X para un algoritmo 3D que calcula la zona de despeje de varios puntos virtuales en los zapatos en relación con la escalera en cada cuadro (Startzell et Cavanagh, 1999).

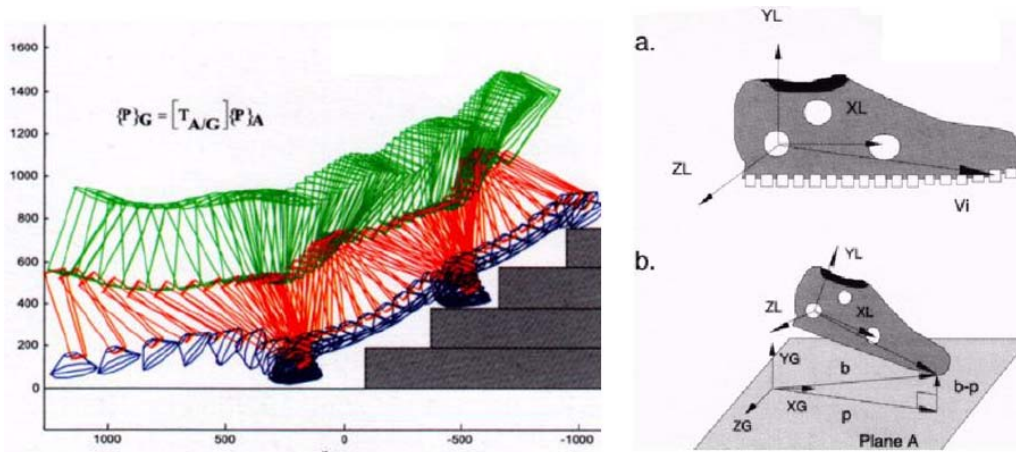


Imagen 9 Ejemplo de análisis efectuados en la medicina deportiva con el sistema VICON.²⁰

Las principales conclusiones en los análisis, estaban ligados a la biomecánica. Gracias al sistema Vicon, los investigadores pudieron establecer con precisión los movimientos de la columna vertebral según el desplazamiento de la caja, en el caso de una silla típica y en el caso de la silla "Move".

Las ayudas informáticas permitieron en estos estudios, de establecer el nivel de fatiga con respecto a los músculos. Este estudio demuestra la importancia de las ayudas informáticas en este tipo de análisis ergonómicos, específicamente para establecer datos biomecánicos, mucho más fiables que los datos establecidos visualmente.

Igualmente, se empieza a observar la gran complejidad en el manejo de los parámetros. Debido a la complejidad espacial se deben dejar de lado algunos datos, teniendo en cuenta que el análisis biomecánico es una parte muy importante en un análisis ergonómico.

Caso 4

Scan de las sombras de modelos humanos para el análisis del confort de una silla de automóvil.

Trabajo realizado por grupo de investigación SED²¹ con el apoyo de Fiat, las Sillas Lear, y las universidades de Berlin, Southampton y Loughborough.

¹⁹ Fuente : <http://www.vicon.com/main/downloads/20012-sports-studies.pdf>

²⁰ Fuente : <http://www.vicon.com/main/downloads/safetyonstairs.pdf>

²¹ Seat Evaluation and Design

El objetivo era numerizar digitalmente, el escaneo de las sombras para proyectar estos parámetros en las superficies de la silla previamente diseñada y dibujada por computador.

Para este estudio se utilizó el programa Sammie²², principalmente para permitir una predicción de las distribuciones de la presión, lo que permitiría establecer un método de control del confort, gracias al análisis de las deformaciones de la silla en contacto con el cuerpo humano. (Imagen 10)

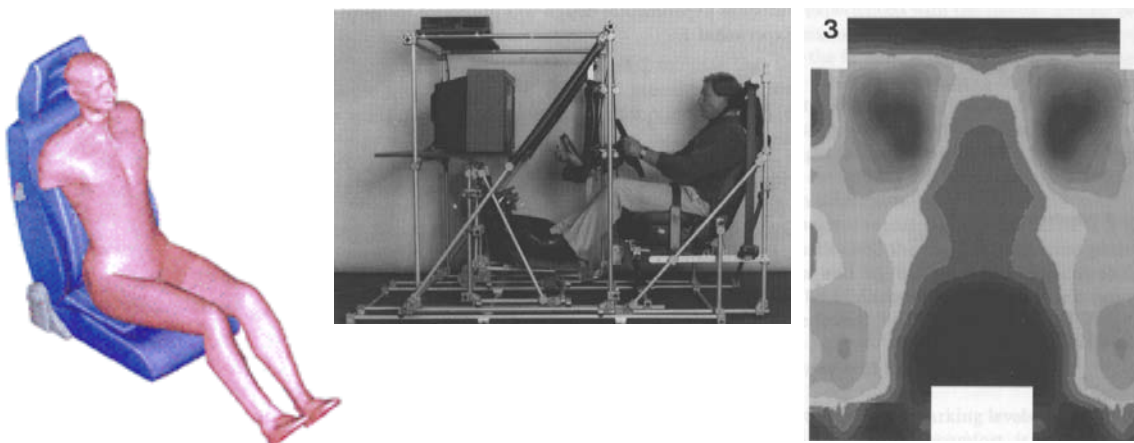


Imagen 10 Distribución de la presión, determinada experimentalmente sobre la silla de automóvil.²³

La complejidad de los parámetros de un maniquí en un ambiente 3D, hace que la mayoría de las veces, una representación 3D esté asociada a la utilización de primitivas geométricas para dar una aproximación simbólica de la figura humana. Aunque en este caso, sería muy importante comprender la superficie del cuerpo ya que está en contacto directo con la silla. Para esto se recurrió a la técnica de escaneo LASS²⁴, gracias a esta técnica los investigadores pudieron escanear con coordenadas en 3D (mas o menos 64.000 coordenadas), que fueron tratadas para acceder finalmente a los datos. (se pudo bajar en un 85% los datos sin perder la información antropométrica).

En la Imagen 11, podemos observar la imagen numerizada generada por el sistema informático según la distribución de la presión sobre la silla. Con una representación paramétrica como esta, los investigadores pudieron cambiar los parámetros antropométricos del maniquí o los de la silla, y la presión generada será una representación muy real de la situación.

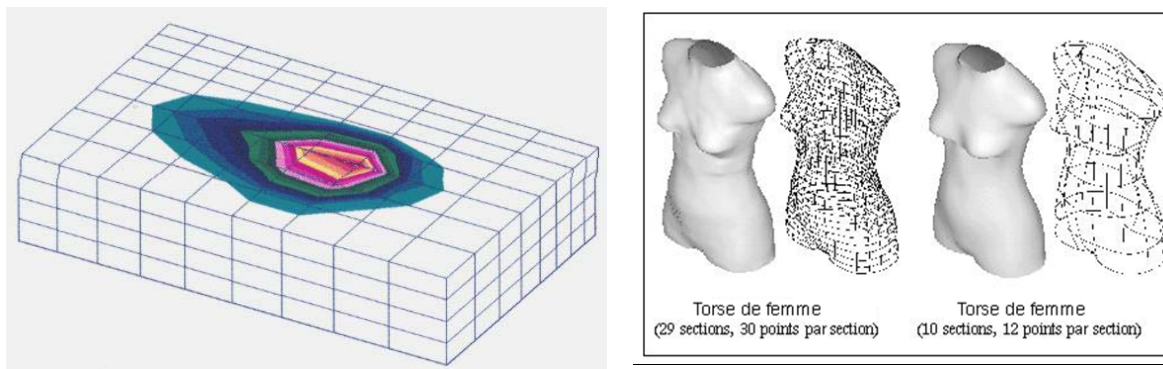


Imagen 11 Scan del torso de la mujer con 29 secciones y con 10 secciones.²⁵

²² Desarrollado por el grupo de investigación SAMMIE (localizado en las universidades de Loughborough y Nottingham) : System for Aiding Man-Machine Interaction Evaluation, es un sistema de evaluación para realizar los análisis 3D visuales, de las posturas y los alcances. Muy utilizado en la industria automotriz.

²³ Fuente : Shadow-scanned Human Models for Car Seating Design, artículo presentado para la Conferencia Internacional en Computer Aided Ergonomics and Safety (CAES '99), Barcelona, Mayo 1999, imagenes enviadas por correo por el Dr. Keith Case, quien lideró el proyecto.

²⁴ Loughborough Anthropometric Shadow Scanner

²⁵ Dr. Keith Case, *Ibid.*

En este análisis, pudimos constatar la gran ayuda que puede dar la EAC²⁶ con un ambiente virtual. El dibujo de la figura humana por computador fué efectuada por secciones que estaban en contacto directo con la silla. Al maniquí, le faltaban partes del cuerpo que no estaban en contacto directo con la silla como los brazos, aunque se estudió los efectos en la presión, sobre la silla, con el movimiento del brazo. Cabe anotar que en otras ocasiones existirán otras partes en contacto, que deberán ser estudiadas. Pero para esto se debe tener en cuenta la potencia de las ayudas informáticas y la complejidad de los datos. En esta iniciativa, es evidente que la utilización de las ayudas informáticas fue fundamental.

Conclusiones

Proceso de diseño.

En un análisis ergonómico, para sacar el mejor provecho de las ayudas informáticas y de los maniqués virtuales, se debe establecer los objetivos claros del proyecto con respecto a estas nuevas tecnologías.

Para estudios realizados con respecto a la forma del cuerpo, como el caso de la silla, se establecen unas ayudas informáticas específicas, las cuales son diferentes a las ayudas que se utilizan en los estudios biomecánicos.

El presupuesto del proyecto y la gestión eficaz, ayudan a determinar las ayudas informáticas, como lo vimos en la imagen 1, el costo de utilizar estas ayudas depende de los objetivos, pues en un momento dado podemos establecer las dos curvas de costos en un mismo nivel.

Estas nuevas maneras de gestionar un proyecto, desde la etapa de concepción hasta el producto final, están asociadas a otros asistentes informáticos como la FAC (Fabricación Asistida por Computador), la IAC (Ingeniería Asistida por Computador) o la EAC (Ergonomía Asistida por Computador), entre otros.

La utilización eficaz de estas ayudas con el fin de optimizar los tiempos y resultados es el punto más importante de esta investigación al igual que constatar, como lo podemos ver en las imágenes 12 y 13, las características en el proceso de diseño pueden variar dependiendo de las ayudas informáticas.

En una época donde la tecnología evoluciona día a día, tenemos que tratar de aprovechar esta ayudas, pero lo importante no es quien tiene mas información, sino como utilizar lo que tenemos.

Agradecimientos.

Quiero agradecer a los diseñadores, ergónomos e ingenieros que participaron a este estudio. Igualmente, un agradecimiento especial para los profesores Philippe Lalande y Nicole Vézina por la ayuda con los datos y fuentes de esta investigación.

²⁶ Ergonomía Asistida por Computador

Bibliografía.

- ALVAREZ, J., et coll. « Ergonomics Study on the Stokke Move Chair », Zaragoza, INERMAP, 1998.
- CASE, K., et coll. « Shadow-scanned human models for car seating design », Publicaciones para la cuarta conferencia internacional CAES 99 sobre Ergonomía y Salud Asistida por Computador, Barcelona, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, mai 1999.
- CHAFFIN, D. B. et coll. « On simulating Human Reach Motions for Ergonomics Analyses », Publicaciones para la conferencia internacional sobre Ergonomía y Salud Asistida por Computador CAES 2001, Maui, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Das, B.; Mattila, M., 2001.
- DE PAOLI, G. « Une nouvelle approche d'aide à la conception par ordinateur en architecture basée sur la modélisation d'opérateurs sémantiques et la création de maquettes procédurales », tesis de Doctorado, Universidad de Montreal, Facultad del Hábitat, Montreal, 1999.
- DORTA, T. « L'influence de la RV non immersive comme outil de visualisation sur le processus de design », tesis de doctorado, Universidad de Montreal, Facultad del Hábitat, Montreal, 2001.
- LABERGE, M. « Étude ergonomique du poste de caissière d'un supermarché : l'utilisation d'un banc assis-debout », Tesis presentada como exigencia parcial de la maestría en Biología, Universidad de Quebec en Montreal, Octubre 1997.
- LABERGE, M. y N. VÉZINA. « Un banc assis-debout pour les caissières. Une solution pour réduire les contraintes de la position debout? », Revista Trabajo y Salud, vol. 14, n° 2 (junio), 1998.
- YEN-WEN CHENG, N. « Linking the Virtual to Reality : CAD & Physical Modeling ». Publicaciones para la sexta Conferencia Internacional sobre CAAD Futures, Singapur, The Global Design Studio, Milton Tan et Robert The, 1995.
- ZEVI, B. Apprendre à voir l'architecture, Paris, Les éditions de Minuit, 1959, en T. Dorta, « Réalité virtuelle, visualisation et processus de conception », tesis de Maestría, Universidad de Montreal, Facultad del Hábitat, Montreal, 1994.