



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOF 2014

Nuevos escenarios
en la enseñanza de la ingeniería

Cartagena de Indias. 7 al 10 de octubre de 2014
Centro de Convenciones Cartagena de Indias

INCLUSIÓN DE INGENIERÍA COGNITIVA EN LOS PROCESOS DE SUPPLY CHAIN PARA LA FORMACIÓN DE INGENIEROS INDUSTRIALES

Martha Caro, Leonardo Quintana

Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia

Resumen

La esencia de la ingeniería industrial es el mejoramiento de los procesos. Diversas técnicas han sido desarrolladas; incluyendo ingeniería de tiempos y movimientos, modelos matemáticos para optimización, lean manufacturing, Business Process Management, entre otras. El objetivo de éstas, es mejorar los resultados de los procesos, midiendo los mismos a través de la eficiencia, la productividad y la calidad.

Una de las características de estas técnicas es su enfoque al mejoramiento de las relaciones entre los recursos que intervienen en los procesos: maquinaria, material, información, instalaciones y personas. Los logros son importantes en cuanto al mejoramiento de los procesos logrando aumentar su eficiencia y productividad; sin embargo en los resultados obtenidos se evidencia que el factor humano presenta una perspectiva cognitiva que ha sido poco estudiada y cuyo análisis supone una oportunidad de analizar desde perspectivas adicionales los procesos y las relaciones entre los diferentes factores.

Es así, como surge la oportunidad de incluir la ingeniería cognitiva en el análisis de los procesos, con el fin de entender y analizar la relación de las personas con su entorno de trabajo desde el punto de vista de los procesos mentales, y la manera como recibe y procesa la información para la toma de decisiones. Surgen entonces herramientas como Applied Cognitive Task Analysis ACTA, o human reliability para identificar desde lo cognitivo, oportunidades de mejoramiento para disminuir y medir el error humano en las tareas realizadas. Esta investigación presenta un caso de éxito que ha sido desarrollado diseñando esta nueva metodología, y aplicándola en Supply Chain, en el área de servicio al cliente de una empresa del sector químico, encontrando otras formas de analizar y encontrar oportunidades de mejoramiento para la disminución del error humano en los procesos, que representan una nueva técnica a ser aprendida en los procesos de formación de ingenieros industriales.

Palabras clave: cadena de abastecimiento; ergonomía cognitiva; fiabilidad humana; factores humanos; mejoramiento de procesos

Abstract

Process improvement is the result of the application of the Industrial Engineering as a discipline. There are many techniques developed for the achievement of this goal, including Motion and time analyses, Lean Manufacturing and Business Process Management between others. One of the features of these techniques is the focus on the process improvement, including the relationship between its elements including; human resources, machinery, materials, layout and process information. The application of these techniques has demonstrated effective results when it comes to process improvement, and improvement of efficiency and productivity. However these studies have shown lack of consideration of the cognitive

process as relates to the human being, which represents an opportunity for process analysis considering this point of view. We found the opportunity to include cognitive engineering into process analysis as a mean to understand the relationship between the people and their work, through the mental processes and also the way to perceive and process the information for decision making. New techniques have been developed including Applied Cognitive Task Analysis (ACTA) or Human Reliability (HR) to identify, from the cognitive perspective, opportunities to measure and decrease the human error in industrial operations. This investigation presents one case of success, which shows a new method for process analysis and its application in a customer service area of a chemical industry, which represents a new technique to be taught to Industrial Engineers of the future.

Keywords: supply chain; cognitive ergonomics; human reliability; applied cognitive task analysis; human factors; process improvement

1. Introducción

Históricamente, el propósito de la ingeniería industrial ha tenido diversas perspectivas. Uno de los primeros objetivos de la Ingeniería Industrial (II) es mejorar la productividad y la calidad de los productos y procesos. Adicionalmente desde la perspectiva del ser humano, el objetivo es lograr la mejor interacción entre la persona y la máquina así como los materiales y los procesos. Es por esto que en sus orígenes la II enfocaba sus baterías de formación en aspectos como Ingeniería de Métodos, Producción y Calidad, proporcionando herramientas para abordar al análisis de un proceso productivo desde la perspectiva de mejoramiento de las posibles ineficiencias o factores que bajan la productividad encontrados. Lograr el tiempo estándar de producción, minimizar el número de productos defectuosos, eran entonces algunos de los resultados esperados, ahora bajo la perspectiva de Ingeniería Cognitiva se buscan mejoras en la eficiencia y la productividad.

Posteriormente la ingeniería industrial incurre en otros ámbitos que pretenden enfocarse en la necesidad de relacionar al ser humano con la organización y los diferentes recursos que intervienen en un proceso de manufactura, los cuales pueden ser otras personas, maquinas, materiales, procesos, o sistemas de información entre otros. Según (Nadler, 1992) y el IIE, esta relación de la persona con la organización tiene tres formas de ser vista; la primera es desde la planeación y el diseño de sistemas a través de la interacción hombre máquina, teniendo en cuenta no solo elementos físicos, sino también elementos psico-sociales de la personas como stress, carga de trabajo y motivación. Pero probablemente la más importante se refiere a la operación del sistema, al contar con los recursos necesarios para su funcionamiento correcto; las personas, las maquinas, los materiales y sobre todo en cuanto a la persona, tener en cuenta sus necesidades tanto internas como externas. Es así como aparecen otras disciplinas en la formación de ingenieros industriales, tales como, Logística, con su enfoque de Cadena de abastecimiento o Supply Chain, donde se concreta la visión de la organización como un sistema, que a través de eslabones que se coordinan al ritmo de la demanda, planean todos los recursos necesarios, para garantizar el desempeño óptimo de sus operaciones, disminuyendo los costos y mejorando el nivel de servicio (Ballou, 2004). Otra de las disciplinas que toman auge en la Ingeniería industrial, es la Ergonomía, haciendo más concreto el objetivo de la mejor interacción de la persona con su ambiente de trabajo, para lograr el mejoramiento en la productividad, la percepción de comodidad por parte de las personas, y como consecuencia, lograr la prevención de riesgos ocupacionales incrementando la motivación. La formación del Ingeniero industrial evoluciona hacia una visión sistémica de la cadena de abastecimiento, teniendo como foco el ser humano y la productividad, alrededor de esto se han desarrollado diversas técnicas que coadyuvan al mejoramiento de los procesos en las organizaciones.

Esto se ve reflejado en estudios previos, como por ejemplo (Kuhlang, Edtmayr, & Sihn, 2011) quienes aplicaron Value Stream Mapping (VSM) y Methods Time Measurement (MTM) para incrementar la productividad y reducir el "lead time" en el proceso logístico de ensamble y producción en empresas de conectores de plástico encontrando resultados favorables para la productividad, aplicando diseño de planta, diseño ergonómico de puestos de trabajo y evaluación de procesos logísticos, obteniendo como resultado el incremento de la productividad. Adicionalmente (Goomas & Yeow, 2010) realizan un experimento para comparar dos condiciones de trabajo en el área de picking en un centro de distribución de productos congelados, (la primera condición es un picking convencional, con lista de papel y la otra condición es utilizando tecnología de audio picking) donde miden el mejoramiento de las condiciones de trabajo con tres indicadores; en productividad por número de productos la cual aumentó en 43%, en calidad por porcentaje de errores los cuales disminuyeron en 2/3 y en ergonomía por la percepción de comodidad encontrando la cual aumentó. Al analizar estos dos casos se puede observar que las técnicas utilizadas, ya sean herramientas para mejoramiento de procesos o implementación de tecnologías, proporciona a la organización mejoramiento de la productividad y de las condiciones de trabajo. Estos casos destacan la ausencia de análisis del factor humano propiamente dicho, es decir el ser humano en el trabajo. Tal es el caso referido de (Resnick, 2008), quien analiza el factor humano en sistemas complejos de cadenas de abastecimiento globales, concluyendo la necesidad de incluir el factor humano en futuras investigaciones, en especial en lo relativo a redes de equipos de trabajo, o el caso de (Roco & Bainbridge, 2002), quienes analizan la manera de

mejorar el desempeño del ser humano desde otras ciencias como Nanotecnología, Biología, o Cognociencia, identificando también oportunidades de análisis del ser humano desde otras perspectivas.

2. Una nueva perspectiva de análisis desde la Ingeniería Industrial

Lo anterior presenta diversos panoramas para incrementar la productividad de las cadenas de abastecimiento y la falencia de la perspectiva del ser humano como objeto de estudio inmerso en un ambiente de trabajo. Esto al ser contrastado con uno de los propósitos iniciales de la II, que consisten en la relación de la persona con la organización, permiten encontrar una disciplina que ha sido desarrollada en otros ámbitos y que puede de cierta manera compensar la falencia encontrada en la actualidad.

Se trata de la Ingeniería Cognitiva, la cual es la mezcla de Ingeniería de Diseño y Psicología Cognitiva aplicada en gran medida a la mejor interacción del hombre con la máquina (Howard, Culley, & Dekoninck, 2008), cuyas aplicaciones han sido bastante conocidas en ingeniería de sistemas, pero que al ser aplicado en Ingeniería Industrial, es mejor llamada Ergonomía Cognitiva, la cual es la aplicación de la psicología cognitiva al trabajo para optimizarlo (entre la persona y su trabajo) con respecto al bienestar y la productividad (Long, 2000; Long, 2001a). Desde la década del 70, ha habido gran interés por parte de la ergonomía cognitiva para analizar la interacción hombre-máquina con el fin de prevenir el riesgo de desastres de alto impacto, como el accidente en la planta nuclear Three-Mile Island en 1979 (Hollnagel, 1998). Es así como las investigaciones en ergonomía cognitiva se han enfocado al análisis de situaciones que representan alto riesgo, como es el caso de sistemas de transporte (Flemisch & Onken, 2002), (Farrington-Darby & Wilson, 2009) o en salud (Carayon, Alvarado, & Hundt, 2007) y cc (Belkić, 2003) en lo relativo al análisis del trabajo o la interacción hombre máquina.

Pero teniendo en cuenta que el otro objetivo de la II es la eficiencia y la productividad de las organizaciones, surge otro elemento de análisis: el error humano, el cual también ha sido estudiado en plantas nucleares (Heo & Park, 2010; Preischl & Hellmich, 2013), salud (Woods & Cook, 2003) y transporte (Gibson, Megaw, Young, & Lowe, 2006), coincidiendo con la ergonomía cognitiva en la búsqueda de elementos para prevención de errores humanos en la interacción hombre máquina.

Como se puede observar, la combinación de Ergonomía Cognitiva y Error Humano han sido aplicadas en áreas diferentes al ámbito tradicional de la II; sin embargo por su naturaleza cumplen un papel fundamental en el mejoramiento de la productividad de la organización, sin dejar de lado al ser humano. Lo anterior se afirma porque la ergonomía cognitiva estudia la interacción de la persona con su ambiente de trabajo desde los procesos mentales, tales como memoria, razonamiento, aprendizaje y solución de problemas, es decir se refiere a la interacción entre las herramientas y el usuario, con énfasis en los procesos cognitivos de entendimiento, razonamiento y el uso del conocimiento (Green & Hoc, 1991). Por otro lado se entiende error humano como la manera equivocada de ejecutar un procedimiento o una instrucción (Reason, 1990), aun cuando la intención haya sido de éxito, el resultado no lo es. Adicionalmente la probabilidad de cometer error humano en un sistema se denomina Fiabilidad Humana; es decir esta es la manera de medir desde el punto de vista cuantitativo la probabilidad de cometer error en un proceso o sistema. En Colombia, la fundación Logyca, en sus estudios ha determinado que el porcentaje de error que presentan las empresas en sus niveles de servicio es del 30% afectando su productividad. De esta manera se encuentra pertinente que el Ingeniero Industrial cuente con otras herramientas que le permitan llegar a campos antes no estudiados para generar soluciones a los procesos, que realmente mejoren la interacción de la persona con su trabajo, potenciando el uso de la tecnología, los sistemas de información y los procesos en la cadena de abastecimiento.

3. Metodología

Como se mencionó anteriormente, la Ergonomía Cognitiva y Fiabilidad Humana han sido desarrolladas en profundidad en sectores de alto riesgo, en tareas muy puntuales, como el manejo de un cuarto de control, de una cabina de avión o de una máquina de anestesia; sin embargo todo lo desarrollado hasta ahora no ha sido estudiado en el cotidiano de la operación de una empresa, o cadena de abastecimiento. Siendo ésta la que se encarga de garantizar el nivel de servicio y disminuir los costos, se ha enfocado el presente análisis en las operaciones de los procesos logísticos donde la complejidad puede estar al mismo nivel que una planta nuclear (Long, 2001b). Para esto se ha desarrollado una metodología de análisis de procesos desde el punto de vista cognitivo, que combina tres fases, como se puede observar en la figura 1 (Jimenez & Cruz, 2013).

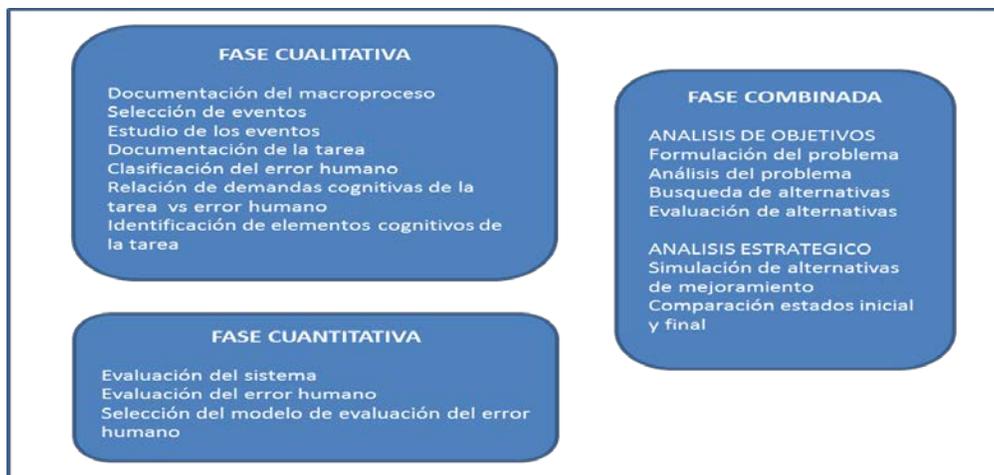


Figura 1 (Jimenez & Cruz, 2013)

La fase cualitativa tiene como resultado la identificación de los elementos cognitivos que intervienen en las tareas críticas causantes de los principales errores. Esta fase utiliza herramientas como Análisis Cognitivo de la Tarea o Applied Cognitive Task Analysis ACTA (Militello & Hutton, 1998), Hierarquical Task Analysis HTA, (van Westrenen, 2011), entrevistas semiestructuradas, niveles de comportamiento del ser humano (Rasmussen, 1982), y Tipos de error (Reason, 1990). La fase cuantitativa, que mide la fiabilidad del sistema, es decir la probabilidad de cometer ese error en el sistema, donde se utilizan técnicas de análisis de fiabilidad humana de acuerdo con la situación planteada (Ruiz-Moreno & Trujillo, 2012). Adicionalmente la fase combinada que se encarga de plantear las propuestas de mejora, y simular las diferentes alternativas de mejora, calculando la eficiencia cognitiva en los escenarios inicial y final, con el fin de medir la probabilidad total del error humano en el escenario propuesto, y así, identificar los beneficios económicos, utilizando herramientas como la caja negra y probabilidad total del error humano PTEH (Sureda, SF). Como se puede observar, esta metodología combina herramientas que provee la Ingeniería Cognitiva, la Fiabilidad Humana con las herramientas tradicionales de la Ingeniería Industrial para encontrar propuestas de mejora a los procesos focalizando sus esfuerzos en la mejor interacción de la persona con su trabajo desde el punto de vista mental. Para facilitar el entendimiento de la aplicación de las herramientas a continuación se presenta un caso de aplicación de la metodología en procesos logísticos en una empresa de químicos con sus resultados correspondientes.

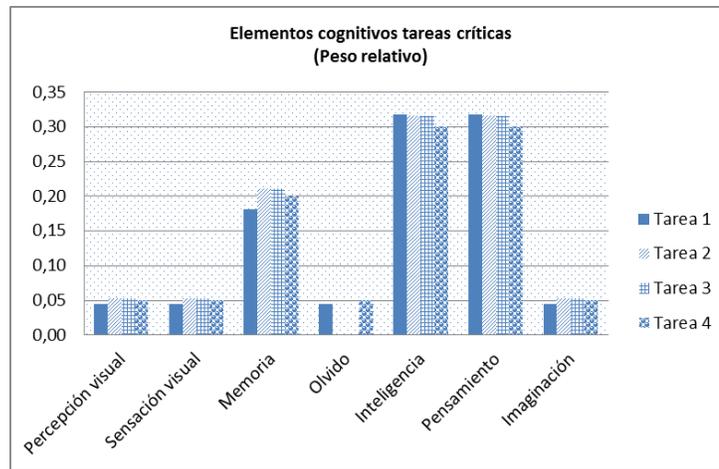
4. Resultados

Una de las aplicaciones de la metodología se ha realizado en el sector químico en el área de servicio al cliente de una empresa multinacional dedicada a la comercialización de fragancias industriales en Latinoamérica, con presencia en 35 países a nivel mundial. El estudio se focalizó en el área de servicio al cliente en el proceso de aprovisionamiento de órdenes, donde al analizar los registros contables del último año, se encontró que el 7% de éstos presentaba error con un equivalente en dinero a USD \$1,366,257.96. Al realizar el análisis de Pareto a esta información como lo sugiere la fase cualitativa de la metodología propuesta, se encontró que el 24.32% de los eventos causantes de error, generaban el 79.75% de las pérdidas económicas. Con esta información se realizaron entrevistas semiestructuradas basadas en la técnica de ACTA a las personas a cargo del proceso de compras, encontrando los errores humanos cometidos y las tareas críticas, como se puede observar en la tabla 1.

ERRORES HUMANOS EN TAREAS CRITICAS		
TAREA	DESCRIPCIÓN	ERROR HALLADO
TAREA 1	Revisar hoja de vida del cliente	No se facturó el día en que el cliente lo solicitó.
TAREA 2	Comparar la fecha y el número de la orden de la compra contra el día que se recibe	Se ingresó dos veces la misma orden en distintas fechas, separadas por un mes.
TAREA 3	Comparar la orden ingresada en SAP contra la orden de compra del cliente	La factura fue emitida a nombre de F para entregar a F. Se le estaba cobrando a la persona que no era.
TAREA 4	Comparar la orden de SAP enviada por US contra la orden de compra del cliente	No revisar que la orden enviada desde Estados Unidos estuviera bien hecha.

Tabla 1. (Jimenez & Cruz, 2013)

Para analizar los errores humanos identificados, se hace la descripción de los elementos cognitivos relacionados con cada tarea y de esta manera se identifican los procesos mentales que tienen lugar en el desarrollo de las mismas. En la gráfica 1 se observan los elementos cognitivos de las cuatro tareas críticas, encontrando que los elementos que intervienen principalmente en ellas, son los relacionados con inteligencia, pensamiento y memoria.



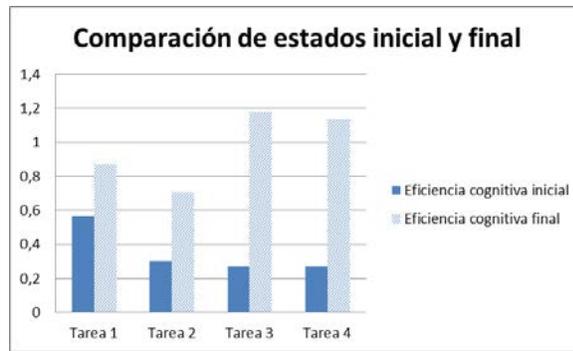
Gráfica 1 (Jimenez & Cruz, 2013)

Una vez identificados los elementos cognitivos, se lleva a cabo el proceso de generación de alternativas, las cuales se diseñan teniendo en cuenta las características de la tarea y los elementos cognitivos, dando lugar a las propuestas de mejora en el proceso, como se observa en el tabla 2. Listas de chequeo, generación de estándares para documentación, cambio en el lenguaje usado en algunos documentos, son alternativas que disminuirán la probabilidad de cometer los errores identificados, y por lo tanto disminuir las pérdidas económicas que tiene la empresa por este motivo.

ALTERNATIVA	TAREA
Lista de chequeo de elementos a revisar de la orden respecto a la hoja de vida.	1
Crear un estándar de documentación de los datos de los clientes.	1 y 3
Crear un formato de orden para el cliente.	2 y 3
Proponerle al cliente enviar las órdenes de compra, de los productos despachados desde US, en inglés.	4
Hacer una lista de chequeo de los requerimientos solicitados por Co al país desde donde va a ser despachado el producto.	4

Tabla 2. (Jimenez & Cruz, 2013)

Para la cuantificación de la disminución de la probabilidad de error se calcula la probabilidad total del error humano (Faig Sureda, 2000), la cual se relaciona con el tipo de tarea y los elementos cognitivos que intervienen en ella. Así con las alternativas de mejora propuesta se cuantifican disminuciones de estas probabilidades, lo que trae como consecuencia aumento de la eficiencia cognitiva de la tarea, como se observa en la Gráfica 2 donde se comparan las eficiencias cognitivas simuladas antes y después de la alternativas de mejora, encontrándose diferencias positivas entre 0.91 en la Tarea 3 y 0.3 en la Tarea 1, es decir que la eficiencia cognitiva final era mayor que la eficiencia cognitiva inicial.



Gráfica 2 (Jimenez & Cruz, 2013)

El impacto económico de estas alternativas se mide con la diferencia de las ineficiencias cognitivas (1-eficiencia cognitiva) de cada tarea antes y después de las alternativas, obteniendo beneficios de US\$183.000 lo que equivale al 13.4% de las pérdidas causadas por los errores, como se puede observar en la tabla 3.

EVALUACION ECONOMICA ALTERNATIVAS DE MEJORA						
TAREA	Descripción	INICIAL		PROPUESTO		BENEFICIO DE LAS ALTERNATIVAS US\$
		Ineficiencia cognitiva	Impacto económico US\$	Ineficiencia Cognitiva	Impacto económico	
Tarea 1	Revisar hoja de vida de cliente	0,43	\$ 27.680	0,11	\$ 7.081	\$ 20.599
Tarea 2	Comparar la fecha y el número de la orden de compra contra el día que se recibe	0,70	\$ 187.034	0,29	\$ 77.485	\$ 109.548
Tarea 3	Compara la orden ingresada en SAP contra la orden de compra del cliente	0,73	\$ 61.467	0,18	\$ 15.156	\$ 46.311
Tarea 4	Comparar la orden SAP enviada por Estados Unidos contra la orden de compra del cliente	0,73	\$ 8.444	0,14	\$ 1.619	\$ 6.825
	TOTAL	2,59	\$ 284.625	0,72	\$ 101.342	\$ 183.283

Tabla 3 (Jimenez & Cruz, 2013)

5. Discusión

Lo presentado anteriormente permite visualizar de manera general la oportunidad de involucrar en la formación de ingenieros industriales, disciplinas hasta ahora dedicadas a otro tipo de análisis, pero que pueden ser de bastante provecho para complementar el actual enfoque de la Ingeniería Industrial. Es así como de manera adicional a los análisis de procesos actuales, donde se identifican cuellos de botella, procesos o movimientos innecesarios, desperdicios, se encuentra una oportunidad de estudiar al ser humano en su interacción mental con el proceso, el sistema de información, los materiales, e incluso con las demás personas, y tratar de identificar porque se equivoca; esto cobra gran importancia si se tiene en cuenta que los procesos son realizados por seres humanos, quienes juegan un papel fundamental en las organizaciones. Pero no solo se trata de ver al ser humano, lo cual podría parecer un poco lejano de la ingeniería industrial y más bien cercano a la psicología, sino que también se involucran herramientas cuantitativas que dan el rigor matemático propio de la ingeniería y permite relacionar además los beneficios cuantificados desde lo cognitivo, con los beneficios económicos de las organizaciones. Es así como se logra cumplir con los principales objetivos de la ingeniería industrial al aumentar la productividad de las organizaciones y permitir la mejor relación entre el ser humano y la organización. Estos elementos pueden ser incluidos en los programas de ingeniería industrial como asignaturas adicionales, o ser incluidas en las ya existentes, como complemento de formación. Adicionalmente se presenta la oportunidad de investigación la cual es bastante amplia, teniendo en cuenta que hasta el momento este es un campo inexplorado, y puede generar bastante interés y beneficios para el sector productivo.

6. Conclusiones

El caso de estudio ha permitido aplicar la metodología al proceso de compras de una organización, pero esta puede ser adaptada para ser aplicada a otros niveles ya sean operativos o estratégicos de la cadena de abastecimiento. La complejidad que suponen los procesos en la cadena de abastecimiento, requieren el análisis del error humano, pues la interacción con sistemas de información, con procesos, con materiales y con otras personas tanto a nivel local, nacional y global, están permanentemente expuestos a las fallas las cuales son precisamente el objeto de estudio de este análisis.

Por otro lado teniendo en cuenta que la cadena de abastecimiento es la que permite incrementar el nivel de servicio y disminuir los costos, es claro que esta nueva perspectiva de análisis, permitirá a las empresas contar con ingenieros industriales que verán sus procesos desde otra perspectiva para mejorar el desempeño de la cadena de abastecimiento. Una de las restricciones a las que se enfrenta esta nueva perspectiva es a la disponibilidad de información, pues entre más fiable sea la información disponible, más fiable podrá ser la cuantificación de los errores, es por esto que este tipo de análisis deberá tener en cuenta esta restricción a la hora de iniciar el proceso de análisis, y determinar el grado de disponibilidad y calidad de información, para plantear el nivel de los posibles resultados.

7. Referencias

Artículos de revistas

- Belkić, K. (2003). *The occupational stress index: An approach derived from cognitive ergonomics and brain research for clinical practice* Cambridge International Science Pub.
- Carayon, P., Alvarado, C., & Hundt, A. S. (2007). Work design and patient safety §. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 8(5), 395-428.
- Farrington-Darby, T., & Wilson, J. R. (2009). Understanding social interactions in complex work: A video ethnography. *Cognition, Technology & Work*, 11(1), 1-15.
- Flemisch, F. O., & Onken, R. (2002). Open a window to the cognitive work process! pointillist analysis of Man–Machine interaction. *Cognition, Technology & Work*, 4(3), 160-170.
- Gibson, W., Megaw, E., Young, M., & Lowe, E. (2006). A taxonomy of human communication errors and application to railway track maintenance. *Cognition, Technology & Work*, 8(1), 57-66.
- Goomas, D. T., & Yeow, P. H. (2010). Ergonomics improvement in a harsh environment using an audio feedback system. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(6), 767-774.
- Heo, G., & Park, J. (2010). A framework for evaluating the effects of maintenance-related human errors in nuclear power plants. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(7), 797-805. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2010.03.001>
- Hollnagel, E. (1998). *Cognitive reliability and error analysis method (CREAM)* Elsevier.
- Howard, T. J., Culley, S. J., & Dekoninck, E. (2008). Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature. *Design Studies*, 29(2), 160-180.
- Kuhlmann, P., Edtmayr, T., & Sihn, W. (2011). Methodical approach to increase productivity and reduce lead time in assembly and production-logistic processes. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 4(1), 24-32.
- Long, J. (2001a). A discipline for research needs in cognitive ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2(3), 289-308.
- Long, J. (2001b). A discipline for research needs in cognitive ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2(3), 289-308.
- Militello, L. G., & Hutton, R. J. (1998). Applied cognitive task analysis (ACTA): A practitioner's toolkit for understanding cognitive task demands. *Ergonomics*, 41(11), 1618-1641.
- Preischl, W., & Hellmich, M. (2013). Human error probabilities from operational experience of german nuclear power plants. *Reliability Engineering & System Safety*, 109(0), 150-159. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2012.08.004>
- Rasmussen, J. (1982). Human errors. A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4(2), 311-333.
- Resnick, M. L. (2008). Human factors in complex systems: Global value chains. *IIE Annual Conference. Proceedings*, 235-240.

- Roco, M. C., & Bainbridge, W. S. (2002). Converging technologies for improving human performance: Integrating from the nanoscale. *Journal of Nanoparticle Research*, 4(4), 281-295.
- Ruiz-Moreno, J. M., & Trujillo, H. M. (2012). Modelos para la evaluación del error humano en estudios de fiabilidad de sistemas. *Anales De Psicología*, 28(3), 962-976.
- van Westrenen, F. (2011). Cognitive work analysis and the design of user interfaces. *Cognition, Technology & Work*, 13(1), 31-42.

Libros

- Ballou, R. H. (2004). *Logística: Administración de la cadena de suministro* Pearson Educación.
- Nadler, G. (1992). The role and scope of industrial engineering. *Handbook of Industrial Engineering*, , 3-27.
- Reason, J. (1990). *Human error* Cambridge university press.
- Woods, D. D., & Cook, R. I. (2003). Mistaking error. *Patient Safety Handbook*, , 95-108.

Memorias de congresos

- Long, J. (2000). Cognitive Ergonomics—Past, present, future: 10 lessons learned (10 lessons remaining). *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, , 44(6) 557-560.

Trabajos académicos

- Jimenez, N., & Cruz, L. (2013). Desarrollo de una metodología que integre la ergonomía cognitiva con el desempeño de los procesos logísticos de empresas de servicios. *Caso de estudio: Área de servicio al cliente de una empresa de fragancias*. Pontificia Universidad Javeriana.

Fuentes electrónicas

- Sureda, J. F. (SF). Ministerio de trabajo y asuntos sociales España. *NTP 621 fiabilidad humana: Evaluación simplificada del error humano*. Consultado en 10 de octubre de 2013.
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_620.pdf

Sobre los autores

- **Martha Caro:** Ingeniera Industrial de la Universidad Javeriana, Máster en Logística Integral, Universidad Pontificia de Comillas en España. Profesora Asistente del Departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana. Actualmente en estudios de Doctorado en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. mpcaro@javeriana.edu.co
- **Leonardo Quintana:** Ingeniero Industrial de la Universidad Javeriana, PhD. en Ingeniería Industrial con énfasis en Ergonomía Industrial de la Universidad de Houston Texas, Máster en estudios de Negocios Internacionales de la Universidad de California del Sur. Profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Javeriana y director del Centro de Estudios de Ergonomía de la Universidad Javeriana. lquin@javeriana.edu.co

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

Copyright © 2014 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)