

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Impacto de las tecnologías de la información y las comunicaciones en la Sociedad
Recibido: 08/04/2020 | Aceptado: 20/06/2020 | Publicado: 01/07/2020

Módulo de Planificación de Secuencias de Ensamble para el sistema Asixmec: un enfoque de CTS

Assembly sequence planning module for the AsiXMec system: a CTS approach

Maybel Díaz Capote ^{1*}

¹Facultad 3, Universidad de las Ciencias Informáticas, Km 1 1/2 Reparto Torrens, La Lisa, La Habana, Cuba

* Autor para correspondencia: mdcapote@uci.cu

Resumen

El enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad llegó para cambiar la apreciación que existía del mundo y contempla hoy el análisis social de la ciencia y la tecnología. La industria cubana del software se nutre de este enfoque para analizar el impacto social de su trabajo. Esta industria tiene entre sus objetivos satisfacer las necesidades de la industria metalmecánica cubana en relación al diseño asistido por ordenador. Una de las problemáticas que enfrenta hoy la industria metalmecánica es la Planificación de Secuencias de Ensamble. Cuando se realiza el ensamble de una pieza mecánica sin un estudio previo el tiempo de ensamble aumenta, debido fundamentalmente, al número elevado de reorientaciones de piezas y cambios de herramientas que pueden ocurrir. De aquí, que el estudio y las acciones que se adopten con el fin de atender este problema, tengan una gran importancia. En este trabajo se describen los aspectos metodológicos y los conceptos asociados a la Planificación de Secuencias de Ensamble. Se describe, además, las principales metaheurísticas y herramientas existentes para el tratamiento de este tipo de problema. El análisis del uso de la metaheurística Sistema de Hormigas MAX-MIN para el tratamiento de las restricciones del problema planteado, a partir del enfoque dialéctico materialista de los estudios Ciencia, Tecnología y Sociedad brindan evidencias de la Planificación de Secuencias de Ensamble como proceso social.

Palabras clave: metaheurísticas, Planificación de Secuencias de Ensamble, Sistema de Hormigas MAX-MIN, Ciencia, Tecnología y Sociedad.

Abstract

The Science, Technology and Society approach came to change the existing appraisal of world and includes today the social analysis of science and technology. The Cuban industry of software is supported by this approach to analyse the social impact of their work. This industry has, among its objectives, to satisfy the needs of the metalworking industry in relation to computer-aided design. One of the problems that faces the metalworking industry today is the Assembly Sequence Planning. When the assembly of a mechanical part is carried out without a previous study the

assembly time increases, mainly due to the high number of reorientations of parts and tool changes that may occur. Hence, the study and actions taken to address this problem, are of great significant. This paper describes the methodological aspects and concepts associated with the Assembly Sequence Planning. In addition, major metaheuristics and existing tools for the treatment of this type of problem are also analysed. The performance of the metaheuristic MAX-MIN Ants System for the current constraint optimization problem, from a dialectical and materialist point of view of the studies of Science, Technology and Society, provides evidence of the Assembly Sequences Plannings as a social process.

Keywords: *metaheuristics, Assembly Sequence Planning, MAX-MIN Ants System, Science, Technology and Society*

Introducción

La aplicación de la ciencia y la tecnología tienen un impacto directo en la sociedad, es por ello que su estudio no puede estar fuera del contexto social en el que se manifiestan. Según (Jover, 1999) la Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) tiene un enfoque general y es de carácter crítico e interdisciplinar. Además, plantea que la ciencia y la tecnología deben ser considerada como proceso social.

Fidel Castro Díaz Balart en su libro (Díaz-Balart, 2003): “Ante los enormes retos del siglo XXI es imprescindible situar el conocimiento, la ciencia y la tecnología en lo más alto de la escala del saber y la inteligencia...” El desarrollo de la informática y de los sistemas informáticos ha propiciado una transformación importante en la sociedad. Una pieza clave en el desarrollo de sistemas informáticos en el país lo tiene la industria cubana del software la cual tiene entre sus objetivos satisfacer las necesidades de la industria metalmecánica cubana en relación al diseño asistido por ordenador. Una de las problemáticas que enfrenta hoy la industria metalmecánica es la Planificación de Secuencias de Ensamble (ASP). Cuando se realiza el ensamble de una pieza mecánica sin un estudio previo el tiempo de ensamble aumenta, debido fundamentalmente, al número elevado de reorientaciones de piezas y cambios de herramientas que pueden ocurrir. De aquí, que el estudio y las acciones que se adopten con el fin de atender este problema, tengan una gran importancia. Para estas actividades se emplean comúnmente tecnologías de Diseño Asistido por Computadoras (CAD) e Ingeniería Asistida por Computadoras (CAE). Existen en el mercado muchos de estos sistemas. Los más completos y usados son comerciales y de código cerrado. Los sistemas CAD libres son de propósito general y no cubren todas las necesidades que demanda la industria metalmecánica cubana.

En el proyecto Diseño y Simulación de Estructuras Mecánicas (DISEM) de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) se construye actualmente un sistema denominado AsiXMec, basado en software libre. Sobre este sistema se modela actualmente y se comprobará en un futuro el funcionamiento de cualquier pieza mecánica.

Dentro de los procesos que se automatizan en el proyecto DISEM se encuentra con alta relevancia la ASP de estructuras mecánicas. Esta planificación influye directamente en los tiempos y costos de producción, principalmente cuando cientos de piezas están involucradas en el proceso.

Actualmente en la empresa CAISA perteneciente a la industria metalmecánica se ensamblan ómnibus para el transporte nacional. El procedimiento de ensamble es con frecuencia un alto consumidor de tiempo debido a las siguientes deficiencias:

- La planificación del ensamble se realiza manualmente, por lo que resulta poco eficiente.
- Se realiza un número elevado de reorientaciones de piezas y subensambles. Cada reorientación supone un tiempo adicional, debido a la utilización de maquinarias pesadas en el proceso.
- Se realizan innecesariamente cambios de herramientas, cuestión que retrasa el proceso de ensamble. Para realizar el proceso de ensamble los operarios ubican las herramientas en un lugar del terreno para ser utilizadas en el momento que se requiera. Cada vez que se necesita realizar un cambio de herramienta los operarios invierten tiempo en ejecutar esta tarea que no aporta nada a la productividad de la empresa. De igual manera influye la cantidad de reorientaciones que se le realizan a las piezas y sub-ensambles para lograr el ensamble del producto final, ya que para este fin en ocasiones se requiere de la utilización de grúas móviles, las cuales consumen tiempo y combustible cada vez que tienen que realizar una reorientación.
- Se desensamblan piezas innecesarias durante la extracción de partes defectuosas. Cuando necesita cambiar una pieza defectuosa comienzan las labores de desensamble de manera intuitiva, desensamblando piezas que en ocasiones son innecesarias.
- Se viola involuntariamente la precedencia de piezas durante los procesos de ensamble y desensamble.
- Se omiten secuencias de ensamble óptimas o cercanas a las óptimas.
- El proceso de planificación es altamente dependiente del conocimiento de un operario.

De esta manera, se impone la búsqueda de una solución para esta problemática, que conlleva al planteamiento del siguiente **problema social**: ¿Cómo las nuevas tecnologías pueden contribuir a minimizar el tiempo de ensamble de una pieza mecánica de manera que contribuya al desarrollo económico y social de la industria metalmecánica cubana? Para solucionar la interrogante planteada se define como **objetivo de la investigación**: Analizar desde el enfoque CTS las potencialidades que brinda para la industria metalmecánica cubana la disminución del tiempo de ensamble de una pieza mecánica.

Metodología computacional

La ciencia y la tecnología como procesos sociales

El desarrollo científico y tecnológico tiene un gran impacto en el desarrollo de la sociedad. Los grandes avances mundiales que se han obtenidos hasta hoy han sido posible gracias al desarrollo científico tecnológico. Entender la ciencia, la tecnología y sus interrelaciones con la sociedad es una necesidad en el mundo contemporáneo. A partir de los años 60 se comienzan a realizar diversos esfuerzos por integrar los estudios sociales de la ciencia y la tecnología en una perspectiva interdisciplinar que se ha denominado Estudios en Ciencia, Tecnología y Sociedad (Estudios CTS).

La ciencia no es solo una actividad teórica, es una actividad social, institucionalizada, portadora de valores y cultura. Es un proceso social profundamente relacionado con la tecnología. Las fuertes interacciones entre ciencia, tecnología e intereses impiden disociar la ciencia de sus metas e impactos (Jover, 1999).

La ciencia es la actividad humana realizada en grupos con intereses particulares en un área del conocimiento científico. Las interacciones sociales que se establecen entre estos grupos (científicos) están determinados en buena medida por las costumbres, creencias, valores y nexos culturales de cada uno de sus miembros. Como toda actividad humana, juegan un papel importante los principios éticos que se deben seguir y por tanto no se debe ver la ciencia como una actividad con fines negativos a los intereses sociales que puedan poner en peligro a la especie humana. No obstante, la forma en que se comunica la ciencia, evidencia que en su creación se siguen códigos previamente establecidos y que se mantienen de generación en generación.

Los estudios CTS analizan los aspectos sociales de la aplicación de la ciencia y la tecnología en el contexto social. Según plantea Jover (ibíd.) en su libro se puede resumir el concepto de ciencia como está situado explícitamente en la tradición de Marx, (Krober, 1986): “entendemos la ciencia no sólo como un sistema de conceptos, proposiciones, teorías, hipótesis, etc., sino también, simultáneamente, como una forma específica de la actividad social dirigida a la producción, distribución y aplicación de los conocimientos acerca de las leyes objetivas de la naturaleza y la sociedad. Aún más, la ciencia se nos presenta como una institución social, como un sistema de organizaciones científicas, cuya estructura y desarrollo se encuentran estrechamente vinculados con la economía, la política, los fenómenos culturales, con las necesidades y las posibilidades de la sociedad dada”.

El autor (Jover, 1999) plantea, además, que la ciencia es de naturaleza social. Se puede entender como tecnología las técnicas, metodologías, medios, herramientas y conocimientos puestos en función de la ciencia para obtener un

beneficio social. Sin embargo, cuando se habla de sociedad se refiere a las relaciones que se establecen entre los individuos y grupos ubicados en un espacio y tiempo determinado.

Los estudios CTS se centran en el análisis de los aspectos sociales de la ciencia y la tecnología, tanto en lo que concierne a sus antecedentes sociales como en lo que atañe a sus consecuencias sociales y ambientales. CTS “tiene como tema de estudio principal la explicación y el análisis de la ciencia y la tecnología como construcción social compleja atendiendo a las fuerzas sociales que implican una multitud de cuestiones epistemológicas, políticas y éticas” concluyendo que “en resumen CTS ofrece a la sociedad una ventana a través de la cual se puede ver en forma reflexiva sus propias interacciones con la ciencia y la tecnología” (Cutcliffe, 2004).

Planificación de Secuencias de Ensamble

El ensamble se considera uno de los procesos más importantes en la manufactura. Este consume hasta un 50% del tiempo total de producción y se responsabiliza por más de un 20% del total de los costos (Pan, 2005). Un ensamble es un objeto compuesto de partes individuales en determinadas ubicaciones relativas, de tal manera que no se superponen, y donde cada parte está en contacto con un subconjunto del ensamble. La secuencia de ensamble calcula un orden de operaciones libres de colisiones para juntar las partes. Esta tarea se realiza dada una descripción geométrica de las posiciones de las partes en el ensamble del producto final (Jiménez, 2013).

La optimización del ensamble ayuda a aumentar la velocidad de los procesos de ensamble y reduce los costos. Así, la ASP es un componente importante en la planificación de ensambles. Esta se refiere a una tarea para la cual los planificadores, sobre la base de sus heurísticas particulares, organizan una secuencia de ensamble específica de acuerdo con la descripción de diseño de un ensamble (Rashid et al., 2012).

El resultado de la ASP es un aspecto crucial, pues determina varias características del ensamble como los cambios de herramientas y las direcciones posibles de movimiento. La secuencia de ensamble también influye en la productividad completamente, pues determina qué tan rápido y exacto es el ensamble de un producto (ibíd.).

Por otra parte, los productos mecánicos usualmente se componen de múltiples partes o subensambles. Por tanto, existe siempre más de una forma para ensamblar un producto. Las partes, al ser ensambladas, pueden ser muy diferentes en términos de la geometría del componente, la precedencia, la accesibilidad y otros tipos de limitaciones. Así, el problema ASP se considera como un problema de optimización combinatoria donde el espacio de búsqueda se incrementa cuando aumenta el número de componentes. Es un problema a gran escala por los posibles movimientos a considerar para cada componente. Además, el problema es altamente restringido ya que está sujeto a restricciones geométricas, de precedencia, de cambios de herramientas, de número de reorientaciones, de cambios de puestos de trabajo, de accesibilidad, entre otras. Aun cuando las restricciones limitan el número de secuencias, existe un número

considerable de posibles combinaciones de estas (Homem de Mello and Sanderson, 1991). El número de secuencias posibles es una función factorial del número de componentes. El problema ASP se encuentra dentro de los problemas NP-hard, para los cuales, hasta el momento, no se ha derivado una solución exacta en tiempo polinomial. Solucionar el problema ASP conlleva a analizar una gran cantidad de combinaciones de alternativas, para verificar y seleccionar la mejor secuencia de ensamble. Por consiguiente, se puede alcanzar un tiempo de cálculo inaceptable, incluso en el caso de utilizar equipos de cómputo con altas prestaciones.

Restricciones en la Planificación de Secuencias de Ensamble

Existen dos tipos de restricciones en el proceso de ensamble. Estas son las restricciones absolutas y las restricciones de optimización (Marian et al., 2003). Las absolutas son aquellas que si son violadas conducen a secuencias de ensamble infactibles, mientras que las de optimización son las restricciones que cuando son violadas conducen a disminuir la calidad de la secuencia de ensamble.

En los problemas ASP, las restricciones absolutas que se consideran usualmente son las restricciones de precedencia y las restricciones geométricas. Las primeras muestran las relaciones de los componentes predecesores y sucesores en el proceso de ensamble y pueden ser representadas mediante un diagrama de precedencia o en forma matricial (Rashid, Hutabarat and Tiwari, 2012).

Las restricciones geométricas en ASP determinan el ensamble de los componentes. Para realizar el acoplamiento de dos partes, debe existir al menos una trayectoria libre de colisiones que permita que todos los componentes estén en contacto. Todas las secuencias de ensamble válidas deben cumplir las restricciones geométricas para una estructura determinada. Las restricciones geométricas al igual que las de precedencia pueden ser representadas mediante una matriz (Rashid, Hutabarat and Tiwari, 2012). Con esta representación, para cada par de componentes (P_i, P_j), se registran las direcciones en las que P_i se puede ensamblar sin colisionar con P_j (Chen and Liu, 2001).

Por otro lado, las restricciones que son clasificadas como restricciones de optimización están relacionadas con problemas de optimización multiobjetivo. En esta categoría las restricciones que más se destacan son: las restricciones de cambios de herramientas, el número de reorientaciones y los cambios de puestos de trabajo (Rashid, Hutabarat and Tiwari, 2012).

En este trabajo se hace una fusión para representar las restricciones de precedencia y geométricas en una misma matriz. Esta estrategia fue utilizada antes por (Wang et al., 2005). En relación a las restricciones de optimización se abordan el número de reorientaciones y los cambios de herramientas.

Representación del problema de ASP

Una secuencia de ensamble se representa como una lista ordenada de operaciones de ensamble. En esta investigación dicha lista, en orden inverso, representa una secuencia de desensamble. Considerando las direcciones de desensamble de los componentes y las herramientas necesarias para el desensamble, se describe una Operación de Desensamble (OD) como una terna $OD = (N, D, T)$, donde N es el identificador del componente en el desensamble, D es la dirección de desensamble del componente y T es la herramienta a utilizar en el desensamble. En este trabajo, cada componente tiene seis posibles direcciones de desensamble a lo largo de los tres ejes principales ($\pm x, \pm y, \pm z$). Si un ensamble está compuesto por n componentes, se puede construir un grafo de desensamble con $6n$ nodos de operaciones de desensamble.

La representación del problema ASP mediante un grafo no es más que unir con una arista todo par de nodos que contengan un identificador diferente. A cada una de estas aristas se le hace corresponder un peso, el cual va a tener valor cero si no existe ningún cambio de dirección o de herramienta en el movimiento. Cuando ocurre un cambio de dirección o un cambio de herramienta el peso se incrementa en 1. Encontrar una secuencia de desensamble en el grafo no es más que hallar un ciclo hamiltoniano de menor peso en un subgrafo completo que contenga todos los componentes del ensamble. La búsqueda de la solución en el subgrafo completo es similar al clásico Problema del Agente Viajero (TSP) en optimización combinatoria. Vale destacar que el TSP consiste en encontrar la mejor manera de visitar todas las ciudades y volver al punto de partida con la menor distancia de la trayectoria, dado un conjunto de ciudades y la distancia entre cada par de ciudades (Matai et al., 2010). Las ciudades en el TSP equivalen a los componentes en el ASP y las distancias entre las ciudades equivalen al número total de reorientaciones y cambios de herramientas en el ASP. El objetivo en este último es encontrar un camino con el menor peso.

A partir de esta equivalencia es posible utilizar el algoritmo de las hormigas en la solución. En este trabajo el grafo de desensamble completo de un producto no se construye explícitamente en el algoritmo. Mediante la Matriz de Desensamble (MD) en memoria solo se tiene el subgrafo correspondiente a la mitad del número total de nodos del grafo y sus aristas correspondientes. El espacio de solución se genera dinámicamente durante el proceso de búsqueda de las hormigas. De esta forma se reduce la cantidad de memoria necesaria para representar los volúmenes de datos, lo cual tiene un impacto directo en la representación de ensamblajes complejos.

Secuencias factibles

Comenzando desde cualquier nodo, una secuencia de desensamble factible o infactible geoméricamente se construye visitando todos los nodos que tienen un identificador diferente. Todas estas secuencias conforman el espacio de solución del problema. Una secuencia de ensamble es factible cuando cumple con las restricciones absolutas del

problema. Así, cuando se obtiene entre las secuencias de desensamble factible las que sean óptimas, estas a su vez, representan inversamente secuencias de ensamble óptimas.

Cuando las hormigas construyen las secuencias de desensamble usando el grafo de desensamble de los productos, las subsecuencias de operaciones de desensamble que tienen el mismo identificador del componente son evidentemente ilegales ya que un componente no puede ser desensamblado dos veces en un ensamble. Otra subsecuencia es infactible cuando viola las restricciones geométricas del ensamble. En el algoritmo se adapta una MD para garantizar la validez y factibilidad de las secuencias. Esta matriz se usa inicialmente para generar las operaciones de desensamble y la lista candidata de operaciones de desensamble. La cantidad de hormigas en el algoritmo es equivalente al número inicial de operaciones de desensamble factibles y estos nodos son fijados como el punto de partida de cada hormiga. Se usa una lista candidata de operaciones de desensamble para restringir la elección de la próxima operación de desensamble durante el proceso de búsqueda de las hormigas.

En este trabajo la MD se utiliza para representar las restricciones geométricas y de precedencia de manera conjunta.

Resultados y discusión

El módulo de planificación de secuencias de ensamble para el sistema AsiXMec permite elegir indistintamente las dos restricciones de optimización abordadas en la investigación. Además, permite visualizar la secuencia de ensamble y desensamble propuesta por el algoritmo como solución. La combinación de teclas Ctrl + d visualiza la secuencia de desensamble. Si se desea retornar a la secuencia de ensamble se debe utilizar la combinación Ctrl + a. Como valor agregado el entorno genera un reporte. Este posibilita que un operario contraste la salida propuesta con las secuencias de ensamble encontradas por el resto de las hormigas involucradas en el caso de estudio. Además, el entorno de prueba permite guardar cada una de las corridas. Así se reducen los análisis para un mismo producto. Como resultado se puede crear una base de conocimiento. Desde un punto de vista algorítmico vale recordar que el proceso de actualización, ocurre únicamente si se cumple una comparación estricta. Si se encuentra otra hormiga con igual cantidad de reorientaciones y cambios de herramientas, `globalBestAntSoFar` no se actualiza. De esta forma se obtiene una secuencia adicional para la toma de decisiones. La hormiga `globalBestAntSoFar` constituye una copia de la mejor hormiga global hasta la iteración en curso. Esta última pudiera evolucionar a una secuencia diferente, pero con igual número de reorientaciones y cambios de herramientas. En este caso, `globalBestAntSoFar` conservaría una secuencia igual de competitiva que la mejor hormiga global al finalizar el algoritmo. Conservar esta secuencia es de vital importancia pues posee generalmente el mejor sentido práctico. En el reporte se incluye dicha salida adicional (secuencia de salida premiada), de existir para el caso de estudio.

Para validar la implementación se seleccionaron casos de estudio recogidos en artículos publicados en revistas referenciadas del tema.

Casos de estudio tomado de artículos en revistas referenciadas

Ensamble industrial

La Figura 1 muestra el caso de estudio Ensamble industrial, anteriormente discutido en la literatura (Wang, Liu and Zhong, 2005). El modelo cuenta con un total de 11 componentes en dos ejes. En este ensamble los tornillos no son considerados.

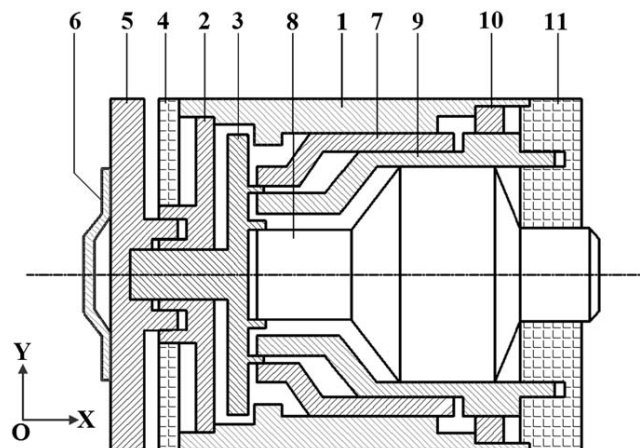


Figura 1. Ensamble industrial

La Figura 2 muestra la salida del algoritmo sin cambios de herramientas. Esta salida presenta cero reorientaciones. En el reporte Ensamble industrial para este caso de estudio se reflejaron dos salidas con igual cantidad de reorientaciones que la salida principal propuesta por el algoritmo. Vale destacar que la hormiga 1 brinda una secuencia elegible, mientras que la hormiga 4 carece de sentido práctico. La salida mostrada por el algoritmo pertenece a la secuencia premiada del caso de estudio.

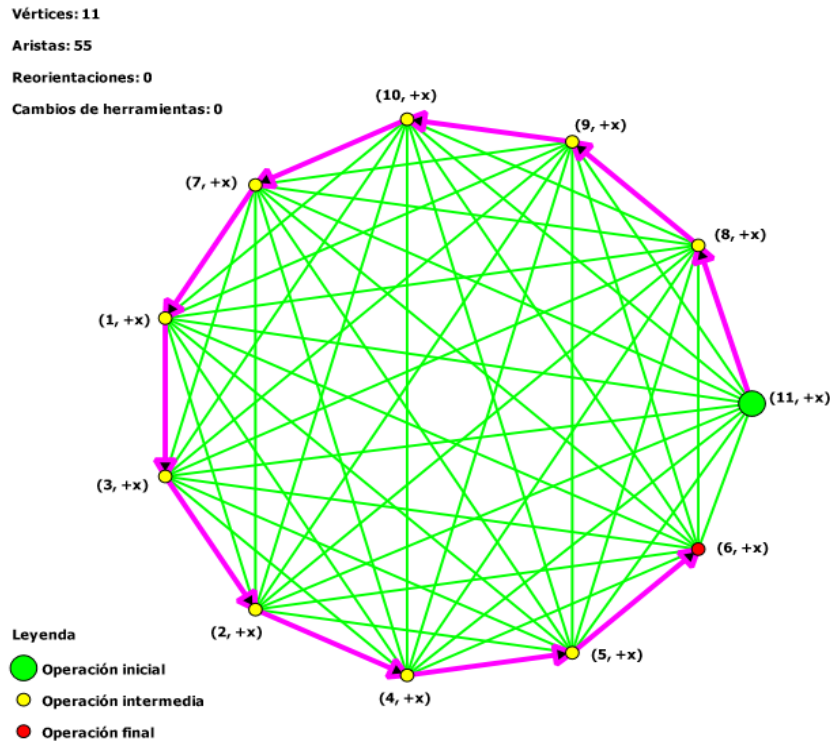


Figura 2. Salida del algoritmo para el Ensamble industrial

Líneas fundamentales del enfoque CTS de la solución propuesta

El uso del conocimiento requiere recursos humanos competentes y abundantes, acceso a los canales de información, recursos organizativos, vínculos funcionales entre la academia y la industria, infraestructura de apoyo legal, capacidad de negociación, y muchos otros aspectos cuya escasez en el Sur constituye una enorme barrera, más poderosa que cualquier arancel aduanal que pudiera existir.

La ciencia se beneficia de la diversidad de enfoques para cada problema. La diversidad de enfoques está profundamente enraizada en el carácter social de la actividad científica; está relacionada con la diversidad intrínseca de las sociedades en las cuales esta se produce y en las que se investigan los mismos problemas. La concentración de la ciencia reducirá su diversidad y obstaculizará la necesaria sustitución de paradigmas que las hacen avanzar.

La investigación científica que fue, en sus inicios, un esfuerzo esencialmente individual requería mucho menos de la existencia de instituciones complejas, servicios estructurados de apoyo y recursos organizativos. Hoy día es una empresa más colectiva.

La ciencia moderna surgió en las naciones industrializadas, en un ambiente de libres intercambios, de publicación anticipada y coparticipación altruista de los resultados. No existía nada similar al actual sistema de protección a la propiedad intelectual, la apropiación privada del conocimiento, la relación científica básica con los secretos industriales.

Impacto económico

El impacto económico de la solución propuesta se evidencia en el cumplimiento de los siguientes lineamientos de la política económica y social del partido:

Lineamiento 129: Diseñar una política integral de ciencia, tecnología, innovación y medio ambiente que tome en consideración la aceleración de sus procesos de cambio y creciente interrelación a fin de responder a las necesidades del desarrollo de la economía y la sociedad a corto, mediano y largo plazo; orientada a elevar la eficiencia económica, ampliar las exportaciones de alto valor agregado, sustituir importaciones, satisfacer las necesidades de la población e incentivar su participación en la construcción socialista, protegiendo el entorno, el patrimonio y la cultura nacionales.

Lineamiento 131: Sostener y desarrollar los resultados alcanzados en el campo de la biotecnología, la producción médico-farmacéutica, la industria del software y el proceso de informatización de la sociedad, las ciencias básicas, las ciencias naturales, los estudios y el empleo de las fuentes de energía renovables, las tecnologías sociales y educativas, la transferencia tecnológica industrial, la producción de equipos de tecnología avanzada, la nanotecnología y los servicios científicos y tecnológicos de alto valor agregado.

En el caso del lineamiento 129 se hace referencia al desarrollo de la economía, a aumentar la eficiencia económica, a la sustitución de importaciones y a la exportación de productos con alto valor agregado. Con la solución propuesta se logra reducir el tiempo de ensamble de los productos debido a una optimización de la planificación donde se minimiza la cantidad de reorientaciones que se le realizan a la pieza y la cantidad de cambios de herramientas a utilizar en el ensamble. Mejora la solución factible para la empresa, basada en la mejora de calidad de la línea de ensamble. Lo anterior se debe a la disminución de cuellos de botella durante el proceso de ensamble por lo que se desarrolla un trabajo más personalizado y oportuno con el producto que se está ensamblando. Además, se disminuye el tiempo para realizar el cambio de piezas defectuosas debido a que las labores de desensamble no se realizarían de manera intuitiva y solo se desensamblarían las piezas necesarias. Existe también un incremento de la productividad ya que el tiempo de ensamble de un producto disminuye y en consecuencia se pueden ensamblar mayor cantidad de productos en una menor cantidad de tiempo. Todo lo anterior tributa al aumento de la eficiencia de la economía y aporta al producto AsiXMec un alto valor agregado.

En el caso particular del lineamiento 131 se resalta la necesidad de sostener y desarrollar los resultados alcanzados, entre otros campos, el del proceso de informatización de la sociedad y los servicios científicos y tecnológicos de alto valor agregado. Estos dos elementos guardan relación entre sí. La construcción de un módulo de Planificación de Secuencias de Ensamble para el sistema AsiXMec contribuiría al proceso de informatización de la sociedad y al diseño de servicios científicos de alto valor agregado, los reportes del módulo con las mejores salidas apoyan el proceso de toma de decisiones para los operarios a cargo del ensamble.

Soberanía tecnológica

El concepto de soberanía tecnológica promueve la gestión social de los recursos digitales en pro del desarrollo local, la autonomía y la solidaridad. Frente a la creciente privatización del conocimiento y la naturaleza mediante leyes de propiedad intelectual y patentes, ambos conceptos promueven la defensa de los bienes comunes compartidos y su gestión democrática por parte de la sociedad (Candón-Mena, 2012).

Se puede entender por soberanía tecnológica como el derecho y el deber de una nación de dominar sus medios tecnológicos. Los procesos de avance de la sociedad que una vez dependieron en gran parte del capital humano y el trabajo manual, hoy en día se asocian cada vez más a una cultura tecnológica capaz de abarcar cualquiera de sus esferas. Es un fenómeno que cruza fronteras y por el carácter tan variado que posee, engloba a personas de distintas profesiones.

La solución presentada está desarrollada en software libre lo que garantiza la independencia y soberanía tecnológica. Además, con el módulo de planificación de secuencias de ensamble existe un ahorro de fuerza de trabajo ya que se realiza una mejor utilización de los recursos humanos y la planificación del ensamble no es dependiente del conocimiento de un operario.

Por lo anteriormente planteado se considera que el módulo de planificación de secuencias de ensamble para el sistema AsiXMec tiene un gran impacto en la empresa CAISA y en la sociedad.

Conclusiones

Con la realización de la presente investigación se arribaron a las siguientes conclusiones:

- El algoritmo MMAS resulta factible para la solución del problema ASP.
- La solución ha permitido tener una aproximación inicial a las oportunidades de impacto social, económico y político que tendría la aplicación de este tipo de problema en la empresa CAISA.

- El enfoque CTS en su relación con la solución propuesta contribuye a cultivar el sentido de responsabilidad social de los sectores vinculados al desarrollo científico.

Referencias

- CANDÓN-MENA, J., IGNACIO Soberanía tecnológica en la era de las redes 2012.
- CHEN, S. F. AND Y. J. LIU An adaptive genetic assembly-sequence planner. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2001, 14(5), 489-500.
- CUTCLIFFE, S. H. *Ideas, máquinas y valores: Los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad*. Edtion ed.: Anthropos Editorial, 2004.
- DÍAZ-BALART, F. C. *Ciencia, tecnología y sociedad: hacia un desarrollo sostenible en la era de la globalización*. Edtion ed.: Editorial Científico-Técnica, 2003.
- HOMEM DE MELLO, L. S. AND A. C. SANDERSON A correct and complete algorithm for the generation of mechanical assembly sequences. *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, 1991, 7(2), 228-240.
- JIMÉNEZ, P. Survey on assembly sequencing: a combinatorial and geometrical perspective. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2013, 24(2), 235-250.
- JOVER, J. N. La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar. Ed. Felix Varela, La Habana, 1999.
- KROBER, G. U., N. T. E. R. Acerca de las relaciones entre la historia y la teoría del desarrollo de la ciencia. *Revista Cubana de Ciencias Sociales*, 1986, 4.
- MARIAN, R. M., L. LUONG AND K. ABHARY. Optimisation of assembly sequences using genetic algorithms. University of South Australia, 2003.
- MATAI, R., S. SINGH, M. MITTAL AND LAL. Traveling Salesman Problem: an Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches. In D. DAVENDRA ed. *Traveling Salesman Problem, Theory and Applications*. InTech, 2010, p. 1-25.
- PAN, C. *Integrating CAD Files and Automatic Assembly Sequence Planning*. Edtion ed.: Iowa State University, 2005.
- RASHID, M. F. F., W. HUTABARAT AND A. TIWARI A review on assembly sequence planning and assembly line balancing optimisation using soft computing approaches. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012, 59(1), 335-349.
- WANG, J. F., J. H. LIU AND Y. F. ZHONG A novel ant colony algorithm for assembly sequence planning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2005, 25, 1137-1143.