



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

ESCUELA SUPERIOR DE TLAHUELILPAN

**OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS DE LOS PROYECTOS DE
INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DE
EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA Y CIENTÍFICA.**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**

**P R E S E N T A :
EDITH OLACO GARCIA
MARILY SANCHEZ LUGO**

DIRECTORES DE LA TESIS:

DR. JORGE ALBERTO RUIZ VANOYE

DR. ALEJANDRO FUENTES PENNA



TLAHUELILPAN DE OCAMPO, HGO.

MARZO 2016

DEDICATORIA.

Marily Sanchez Lugo.

El presente trabajo, significa la culminación exitosa de años de estudios y dedicación para obtener una profesión, es por esto que deseo dedicarla a todas las personas que creyeron en mi antes de que yo misma creyera, a mis padres aunque no estén presentes a mis amigas(os) y a todas las personas que positivamente influyeron y que me dieron todo su apoyo incondicional, a aquellos que me criticaron porque engrandecieron mi espíritu y me motivaron a seguir adelante en esta etapa de mi vida y conseguir la meta final, ser una profesional.

Edith Olaco García.

A Dios

Por ser mi creador y la luz que guía mi camino y por regalarme cada maravilloso día para cumplir cada una de mis metas.

A mis padres

Juana Garcia Bautista

Epifanio I. Olaco Villeda

Quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento de mi inteligencia y capacidad es por ellos que soy lo que soy ahora.

AGRADECIMIENTOS.

Marily Sanchez Lugo.

A todos aquellos que han creído en el proyecto y nos brindan su apoyo de manera incondicional y que a pesar de que no siempre las cosas salen como se quiere interfieren de manera adecuada para de esta manera hacer este proyecto más fácil y con la mejor información para que se lleve a cabo de acuerdo con los lineamientos de cualquier proyecto de esta naturaleza.

Estamos absolutamente agradecidas con los responsables y colaboradores del presente proyecto por el tiempo dedicado a el presente, por cada corrección y comentario y porque amplían cada vez más las dudas para hacer mayor énfasis en la investigación y recolección de información referente a el proyecto.

Edith Olaco García.

A dios.

Quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban además de su infinita bondad y amor.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos.

A mis padres.

Gracias a su apoyo, comprensión y consejos en los momentos difíciles.

Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación en la vida, por compartir mis penas y alegrías siempre con una palabra de aliento para continuar luchando, a ustedes debo este logro y con ustedes finalmente lo comparto

A mis maestros

De manera especial agradezco al Dr. Alejandro Fuentes Penna por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales, por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional y para la elaboración de esta tesis; al Dr. Jorge Ruiz Vanoye por su apoyo ofrecido en este trabajo; a la Dra. Ocotlán Díaz Parra por apoyarnos en su momento.

RESUMEN

En la presente investigación se ha propuesto el desarrollo de un algoritmo meta-heurístico basado en algoritmos genéticos para solucionar el problema de la calendarización óptima de recursos de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico de empresas de Base Tecnológica y Científica. La efectividad de la planeación de los proyectos de innovación y desarrollo tecnológico dependen de los detalles de la planeación, la asignación o calendarización de los recursos durante la duración del proyecto tomando en cuenta las habilidades o capacidades del personal, actividades, salarios, tiempo, costos y presupuesto disponible con el fin de determinar la combinación óptima de estos factores.

ABSTRACT

This research aims to develop a meta-heuristic algorithm based on genetic algorithms to solve the problem of optimal scheduling of resources projects Technological Innovation and Enterprise Development Technology and Scientific Base. The effectiveness of planning projects technological innovation and development depend on the details of the planning, scheduling and allocation of resources for the duration of the project taking into account the skills and capabilities of staff, activities, wages, time, costs and budget available in order to determine the optimal combination of these factors.

Contenido

DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.2 ANTECEDENTES.....	14
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	19
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.5. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	21
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	23
CAPÍTULO II. MARCO TEORICO Y TRABAJOS RELACIONADOS.....	26
Planeación Estratégica.....	26
Sistema de Modelado Avanzado Interactivo Multidimensional.....	29
CPLEX.....	30
CAPÍTULO III. OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS DE LOS PROYECTOS DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DE EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA Y CIENTÍFICA.....	44
CAPÍTULO IV. EXPERIMENTACIÓN DE LA APORTACIÓN.....	56
CAPÍTULO V. IMPLEMENTACIÓN DE LA APORTACIÓN Y CONCLUSIONES.....	75
5.1 Introducción.....	75
5.2 Antecedentes.....	75
5.3 Desarrollo.....	76
5.4 Ejemplo de un escenario.....	81
5.5 Datos de salida.....	87

CONCLUSIONES.....	93
REFERENCIAS	96
ANEXO 1. ARTICULO INDIZADO DYNA.....	102
1.1 INTRODUCCIÓN.....	104
1.2 ESTADO DEL ARTE	105
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	107
1.4 HERRAMIENTAS Y METODOS.....	109
1.5 RESULTADOS	112
1.6 CONCLUSIONES.....	119
1.7 AGRADECIMIENTOS	120
1.8 BIBLIOGRAFIA	121

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Declaración de las variables.....	45
Tabla 2. Desarrollo de las ecuaciones.....	46
Tabla 3. Elementos del modelo matemático.....	50
Tabla 4. Repositorio de instancias PSP-TI.....	54
Tabla 5. Instancias PSP-TI.....	55
Tabla 6. Resultado de las instancias de prueba de proyectos de innovación tecnológica.....	85
Tabla 7. Ejemplo de datos de entrada.....	91
Tabla 8. Estadística de resultados propuestos.....	92

LISTA DE FIGURAS

Fig 0. Planificación eficaz.....	18
Fig 1. Vista principal del simulador AIMMS.....	57
Fig 2. Declaración del conjunto de datos de los proyectos (set).....	58
Fig 3. Ejemplo de proyectos.....	59
Fig 4. Declaracion de conjunto de datos de los trabajadores.....	60
Fig 5. Ejemplo de trabajadores.....	61
Fig 6. Declaracion de conjunto de datos de las secciones.....	62
Fig 7. Ejemplo de las secciones.....	63
Fig 8. Declaracion de conjunto de datos de las habilidades.....	64
Fig 9. Demanda solicitada para cada proyecto.....	65
Fig 10. Numero de Trabajadores solicitados de acuerdo a la sección y habilidades.....	66
Fig 11. Numero de Trabajadores solicitados de acuerdo a la sección y habilidades.....	67
Fig 12. Declaracion de conjunto de datos de las habilidades de cada trabajador.....	68
Fig 13. Registro de habilidades de cada trabajador.....	69
Fig 14. Declaracion de conjunto de datos del nivel de habilidades de cada trabajador.....	70
Fig 15. Nivel de habilidades de cada trabajador.....	71
Fig 16. Declaracion de conjunto de datos de disponibilidad de cada trabajador.....	72
Fig 17. Asignación de trabajadores.....	74
Fig 18. Función principal.....	81
Fig 19. Función matemática.....	82
Fig 20. Ejemplo de valores de entrada.....	82
Fig 21.- Horas laboradas por los trabajadores.....	86
Fig 22. Horas de proyectos por actividad.....	86

Fig 23.- Optimización de las horas requeridas por trabajador en cada actividad.....	87
Fig 24.- Resultado optimizado de un proyecto.....	88
Fig 25.- Presentación de los resultados.....	89
Fig 26.-Computación de los resultados.....	90

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

Actualmente no existen estudios que indiquen el porcentaje de proyectos de innovación finalizados como exitosos, dudosos o fracasados en México; sin embargo, Garza-Cantú (2010) en la revista política digital indica que a nivel mundial los proyectos que finalizan como exitosos oscilan entre el 32% y 40% y consideran que en México el porcentaje es aun inferior.

Dentro de los procesos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en México (CONACyT) existe uno cuya función es determinar si los proyectos de inversión que le llegan son aprobados o no, con base en criterios técnicos y económicos; sin embargo, estos criterios tienen ambigüedad, dado que no se conocen a detalle. Los pasos en forma general consisten en:

- La presentación del proyecto por parte de los investigadores
- La asignación de un grupo especializado en el área de competencia del proyecto para su evaluación (Grupo RCEA del CONACyT), donde ellos realizan un primer análisis para determinar si son o no proyectos innovadores y atractivos.
- Se realiza la evaluación económica, donde se determina su factibilidad en base a la cantidad de dinero con el que se cuenta en el momento de la evaluación, sin realmente hacer un análisis económico para determinar si la cantidad solicitada es la adecuada para concluir el proyecto.
- Para finalizar se suman los puntos obtenidos durante el proceso y se determina si es aprobado o rechazado.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En México, para el año 2013, el gobierno Federal designo 5.4 mil millones de pesos en su presupuesto de egresos de la Federación para invertirlos en los proyectos de innovación tecnológica gestionados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) Muchos de estos proyectos terminan con sobrecostos y con subestimaciones. En el primer caso, el de los sobrecostos, el presupuesto sobrante es regresado a la federación sin posibilidad de reasignación a otros proyectos; y para el caso de las subestimaciones los proyectos terminan inconclusos y entran nuevamente a concurso para asignarle más recursos.

1.2 ANTECEDENTES

El proyecto consiste en optimizar los recursos de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico de empresas de Base Tecnológica y Científica mediante transferencia vertical de genes, diseñar una metodología para caracterizar la calendarización de manera óptima la asignación de recursos, tiempo y dinero de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico, generar un modelo matemático que permita caracterizar la calendarización de manera óptima la asignación de recursos, tiempo y dinero de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico y realizar un estudio experimental del modelo matemático y las instancias de la caracterización de los recursos de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico de empresas Mexicanas de Base Tecnológica y Científica usando técnicas de cómputo científico y la transferencia vertical de genes.

La optimización combinatoria es un tópico relacionado con los fundamentos de las ciencias computacionales y las matemáticas aplicadas que consiste en encontrar el menor costo a un problema matemático de la vida real en la cual cada solución está asociado a un valor numérico. Un problema de optimización combinatoria Π es un problema de minimización o maximización, y está compuesto de las siguientes partes: 1) Un conjunto D_{Π} de I instancias, $I \in D_{\Pi}$; 2) Para cada instancia I existe un conjunto finito $S_{\Pi}(I)$ de soluciones candidatas; 3) Una función m_{Π} que asigna un número racional positivo $m_{\Pi}(I, \sigma)$ o un valor de solución para σ , a cada I instancia y solución candidata $\sigma \in S_{\Pi}(I)$.

La transferencia vertical de genes consiste del paso de genes del organismo padre al hijo sin alguna interferencia durante la división celular. Este tipo de intercambio genético permite la nitidez de la información genética. Aplicando esta terminología en cuestiones informáticas, cuando se procesan conjuntos de datos demasiado grandes, los datos se transmiten de manera más sencilla sin meter tanto ruido en la información lo que genera mayor velocidad en el procesamiento de los datos y por consecuencia un tiempo mínimo para encontrar soluciones.

La Innovación es la creación e implementación de nuevas ideas que dan valor a los clientes o a las empresas [1]. Para crear nuevas ideas es necesario tener creatividad, conocimiento e imaginación para soportar las estrategias de la empresa [1]. Existen diferentes tipos de innovaciones [2]: Introducción de nuevos productos, introducción de nuevos métodos de producción, apertura de nuevos mercados y el desarrollo de nuevas Fuentes de suministros de materiales. La innovación es la forma en que un país capitaliza su propiedad intelectual y en gran medida está ligado al conocimiento que resulta de la investigación científica. Los países que más innovan tienen mayor competitividad que favorece el crecimiento económico, la innovación es un elemento clave de la política científica y tecnológica nacional [3].

En México, la Ley de Ciencia y Tecnología establece las bases de una política de estado que sustenta la integración del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación mediante el incremento a la capacidad científica, tecnológica, e innovación y la formación

de investigadores para resolver problemas fundamentales del país y que coadyuven al desarrollo del país y a elevar el bienestar de la población en todos sus aspectos.

Para la ejecución de los recursos destinados a la innovación, la Junta de Gobierno del CONACYT aprobó los Lineamientos que rigen al Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación [4], en sus distintas modalidades, tomando como elemento principal la necesidad de articular a los actores de la cadena de valor educación-ciencia-innovación y el papel fundamental de esta articulación en el crecimiento económico del país.

El Programa incluye 3 modalidades dirigidas a otorgar apoyos económicos complementarios a empresas que realicen actividades relacionadas con la investigación, desarrollo tecnológico y/o innovación de manera individual o en colaboración con Instituciones de Educación Superior (IES) y/o Centros de Investigación (CI), para proyectos que destaquen en contenido innovador así como la creación de nuevos empleos de alto valor, de tal forma que los apoyos tengan el mayor impacto posible sobre la competitividad de la economía nacional. De manera específica, cada modalidad se distingue de la siguiente manera [4]:

- *INNOVAPYME*. Modalidad destinada a empresas micro, pequeñas y medianas (conforme a la clasificación de tamaño de empresas emitida por la Secretaría de Economía y publicada en el Diario Oficial de la Federación de fecha 30 de junio de 2009), que presenten propuestas de manera individual o en vinculación.

- *INNOVATEC*. Modalidad destinada a empresas grandes (conforme a la clasificación de tamaño de empresas publicada en el Diario Oficial de la Federación de fecha 30 de junio de 2009), cuyas propuestas pueden ser presentadas de manera individual o en vinculación.
- *PROINNOVA*. Modalidad destinada a empresas de cualquier tamaño que presenten propuestas en vinculación con al menos dos IES o CI.

Un proyecto de innovación y Desarrollo tecnológico es responsable de la creación e implementación de nuevas ideas tecnológicas que proporcionen un valor a los clientes o empresas. El proceso de administración de los proyectos de innovación y desarrollo tecnológico está basado en la estimación humana y financiera de la asignación de recursos con un cierto grado de incertidumbre. Los factores que determinan la planeación de un proyecto de innovación y desarrollo tecnológico son: alcances, recursos, tiempo, tamaño y complejidad del proyecto que puede afectar al proceso de innovación.

Los proyectos de innovación y desarrollo tecnológico tratan de cumplir los requerimientos y expectativas de tiempo, costo y calidad de los procesos que conjugan una oportunidad de mercado con una necesidad y/o una invención tecnológica que tiene un objetivo de producción, comercialización y operación de un nuevo proceso, producto, actividad comercial, modelo de negocio, modelo de logística o servicio para el cliente.

La efectividad de la planeación de los proyectos de innovación y desarrollo tecnológico dependen de los detalles de la planeación, la asignación o calendarización de los recursos

durante la duración del proyecto tomando en cuenta las habilidades o capacidades del personal, actividades, salarios, tiempo, costos y presupuesto disponible con el fin de determinar la combinación óptima de estos factores.

La caracterización de la calendarización óptima de los recursos de los proyectos de innovación y desarrollo tecnológico es de importancia clave para asegurar la correcta asignación de los recursos económicos asignados a las empresas de base tecnológica y científica. La planificación eficaz de los proyectos de innovación tecnológica depende de la planificación detallada, anticipándose a los problemas que pueden surgir.



Fig. 0. Planificación eficaz.

1.3. OBJETIVO GENERAL

Optimizar el problema de la calendarización de los recursos de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico de empresas de Base Tecnológica y Científica mediante.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los elementos que integran un proyecto de Innovación y Desarrollo Tecnológico.
- Determinar las características que son evaluadas en los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico, con el fin de establecer un conjunto de indicadores que permitan evaluar la complejidad de los proyectos.
- Analizar las Normas Mexicanas en Gestión de la Tecnología (NMGT).
- Estudio teórico de los problemas de la calendarización de los recursos de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico de empresas mexicanas de Base Tecnológica y Científica.
- Diseñar una metodología para caracterizar la calendarización de manera óptima la asignación de recursos, tiempo y dinero de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico.
- Generar un modelo matemático que permita caracterizar la calendarización de manera óptima la asignación de recursos, tiempo y dinero de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico.
- Generar un repositorio de instancias de prueba de las características de los proyectos de innovación y desarrollo tecnológico.

- Estudio experimental del modelo matemático y las instancias de la caracterización de los recursos de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico de empresas Mexicanas de Base Tecnológica y Científica.

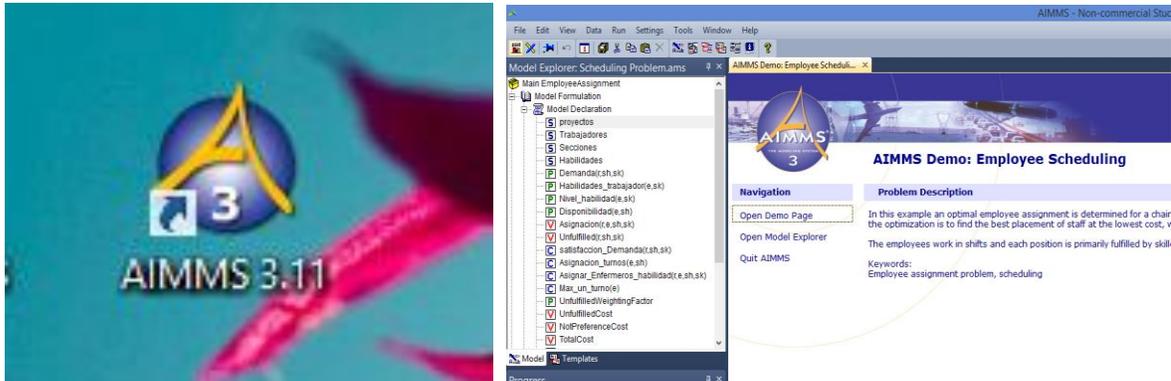
1.5. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

Justificación.

La propuesta de optimizar los recursos de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico de empresas de Base Tecnológica y Científica es original y de alta relevancia para el conocimiento científico y la innovación tecnológica. En México, no sólo la inversión que se realiza en ciencia, tecnología e innovación es insuficiente, además el ambiente es adverso a la generación de empresas de base tecnológica y científica, con trabas fiscales y burocráticas, sin capitales de riesgo y falta de comunicación entre los sectores. En el centro de la discusión está la importancia de la innovación como elemento clave de la política científica y tecnológica nacional. Los países que más innovan tienen mayor competitividad, lo que favorece el crecimiento económico. Ejemplos: Alemania y Corea del Sur. La innovación es la forma en que un país capitaliza su propiedad intelectual y en gran medida está ligado al conocimiento que resulta de la investigación científica, es lo que menciona Gabriela Dutrénit, ex-coordinadora general del Foro Consultivo Científico y Tecnológico AC.

Hipótesis

Es posible optimizar el problema de la calendarización de los recursos de los proyectos de Innovación y Desarrollo Tecnológico de empresas de Base Tecnológica y Científica.



1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

Metas

- Crear un repositorio de instancias de prueba de los proyectos Innovación y Desarrollo Tecnológico de empresas mexicanas de Base Tecnológica y Científica.
- Elaborar un algoritmo bio-inspirado en la transferencia vertical de genes para dar solución al problema de calendarización de recursos de los proyectos Innovación y Desarrollo Tecnológico de empresas mexicanas de Base Tecnológica y Científica.
- Experimentación del algoritmo bio-inspirado en un servidor de misión crítica con multiprocesadores o sobre una computadora con doble núcleo.
- Obtener una solución computacional óptima del problema de la calendarización de recursos de los proyectos Innovación y Desarrollo Tecnológico de empresas mexicanas de Base Tecnológica y Científica.
- Elaborar productos científicos y tecnológicos, y de formación de recursos humanos relacionados con el tema de investigación:
 - Se elaboraran y publicara 1 artículos de divulgación científica y tecnológica en revistas indizadas en el Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), en el índice Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (REDALYC) y/o Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX). Adicionalmente se realizaran

presentaciones de la investigación en la semana nacional de ciencia y tecnología del CONACYT.

Metodología

Los pasos de la metodología científica a utilizar:

1. Antecedentes.
2. Planteamiento del problema.
3. Elaboración del marco teórico.
4. Definición y diseño de la investigación.
5. Selección del universo y de la muestra.
6. Análisis de la información.
 - a. Métodos de recolección de datos.
 - b. Diseño de instrumentos para la recolección de datos.
 - c. Descripción de variables.
 - d. Técnicas para el análisis de datos.
 - e. Caracterización de los objetos de estudio.
7. Desarrollo del modelo.
 - a. Situación actual.
 - b. Análisis de requerimientos
 - c. Análisis y Diseño de las etapas del modelo
 - d. Integración y pruebas del modelo
 - e. Evaluación y estudio experimental del modelo
 - f. Validación del modelo

7. Validación del estudio experimental
8. Presentación de resultados

CAPÍTULO II. MARCO TEORICO Y TRABAJOS RELACIONADOS

Planeación Estratégica.

Definición.

La planeación estratégica como parte de la administración se define como la elaboración, desarrollo y puesta en marcha de distintos planes operativos de las empresas u organizaciones. Con la intención de alcanzar objetivos y metas planeadas. Consiste en ordenar los objetivos y las acciones en el tiempo en función a medios, objetivo y metas de acuerdo a la problemática a resolver.

Henry Mintzberg (1997) [1] define la planeación estratégica como la elaboración desarrollo y puesta en marcha de distintos planes operativos por parte de las empresas u organizaciones, con la intención de alcanzar objetivos y metas planteadas. Estos planes pueden ser a corto, a mediano o largo plazo.

Michael Porter (1982) [1] contribuyo a determinar lo que son las ventajas competitivas y la forma de generarlas a partir de un proceso estratégico afirmando que el estratega debe establecer el estilo competitivo genérico de la empresa (Porter, M. 1982). Toda empresa debe tener una cadena de valor según lo indica Porter y esta cadena de valor contra de todas las actividades que se realiza en la empresa en este sentido es como Bill Richardson (1996) indica que hay dos tipos de actividades: primarias y de soporte. La primera abarca la logística de entrada, operaciones, logística de salida, marketing, ventas y servicios. Las

actividades de soporte son aquellas que sin las cuales no se pueden lograr actividades primarias tales como finanzas, recursos humanos, desarrollo tecnológico y organización.

Otras consideraciones importantes es que el tiempo entre la inversión de un bien y su introducción al mercado comenzó a disminuir su brecha, ocasionando que los productos tengan un ciclo de vida más corta llegando a ser fundamental para las empresas la planeación estratégica para alcanzar un mayor competitividad. De esta forma la planeación estratégica se especializo en que hacer (estrategias) para alcanzar los objetivos perseguidos en función de las oportunidades y amenazas que ofrece el entorno. Es importante que todas las personas vinculadas a la gerencia puedan desarrollar su conocimiento y comprender con exactitud las necesidades de la empresa para que la planeación estratégica les permita interactuar con un mundo dinámico y en constante evolución.

Aunque la planeación estratégica intenta ser precisa, deben hacerse efectivos sus planes en tiempo determinado para que sus consecuencias se mantengan a lo largo del tiempo; por eso se dice que la planeación estratégica pertenece a un proceso continuo y debe ser apoyada por acciones desarrolladas con el fin de posibilitar el buen desempeño de estos planes.

Tipos de planes estratégicos.

Los planes estratégicos de una empresa pueden ser a corto, mediano o largo plazo, depende estrictamente de la magnitud de la compañía debido a que la planeación responde a la

cantidad de actividades que deberán realizar la diversas partes de la empresa, las cuales suelen estar divididas en jerarquías que abarca desde niveles inferiores a superiores. Es fundamental que estos planes, antes de ser llevados a la práctica, se analicen detenidamente y se tracen las metas adecuadas que se desean alcanzar a fin de aprovechar adecuadamente recursos dispuestos para ello.

La planeación estratégica toma decisiones en respuesta a problemas presentes no futuros, es por ello que no predice ingresos como tales, sino que resuelve problemas con ese criterio, es por ello que todas las empresas deben revisar sus planes estratégicos con frecuencia, al menos una vez al año, para ir ajustándose a los retos que supone la nueva realidad que vive la empresa. Todos los planes deben ser revisados y si es el caso, ajustarse, trazando nuevas tácticas para lograr las metas.

Para que una buena planeación tenga resultados positivos es importante que los empleados conozcan el reglamento interno del trabajo, siendo este un reglamento jurídico que constituye gran ayuda para la administración de recursos humanos (arias, F. 1994), ya que los problemas suelen ocasionar carencia de un buen clima laboral (Duhalf, M. 1987).

Finalmente, como indica Sánchez F. (1983), la planeación es una herramienta de la administración que nos permite el uso correcto de acción para la realización de los objetos previstos. Antes de poner en marcha un programa estratégico necesita que todas las áreas involucradas cuenten con la información de los planes y tácticas a seguir, así como lo que se espera como mínimo a alcanzar con los ajustes realizados

Sistema de Modelado Avanzado Interactivo Multidimensional

AIMMS (Sistema de Modelado Avanzado Interactivo Multidimensional), es una herramienta que sirve para modelar todo tipo de problemas de programación matemática y en su versión completa puede llegar a resolver problemas más de un millón de variables cosa que no podría hacer el humano sin ninguna ayuda ya que resultaría muy tedioso.

AIMMS (Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software) es un software que ofrece la empresa Holandesa Paragón Decision Technology B.V. AIMMS ofrece un ambiente de desarrollo en el cual los usuarios experimentados en modelado pueden crear aplicaciones funcionales que rápidamente pueden ser utilizadas por personas con menos experiencia o clientes finales. AIMMS posibilita una combinación de métodos matemáticos y de herramientas de desarrollo como: un explorador de modelos en un ambiente gráfico para construir y mantener modelos complejos, los métodos de solución exacta, los procedimientos que permiten la interrelación con lenguajes como C, C++, VB, etc.

El sistema AIMMS es una herramienta adecuada para:

- Modelar problemas de optimización
- Crear un interface de usuario final ajustada a las necesidades del usuario
- Permite un ambiente de ejecución en tiempo real para la toma de decisiones.

CPLEX

Solucionador mediante programación matemática de alto rendimiento de problemas de programación lineal, programación entera mixta y programación cuadrática.

La tecnología de programación matemática IBM ILOG CPLEX Optimizer permite disponer de un sistema de soporte para la toma de decisiones mediante análisis para mejorar la eficacia, reducir costes y aumentar la rentabilidad.

Algoritmos fundamentales: IBM ILOG CPLEX Optimizer ofrece solucionadores de programación matemática flexibles y de alto rendimiento para resolver problemas de programación lineal, programación entera mixta, programación cuadrática y programación con restricciones cuadráticas.

Algoritmos sólidos para los problemas más exigentes: IBM ILOG CPLEX Optimizer ha solucionado problemas con millones de restricciones y variables.

Soporte líder en el sector: IBM cuenta con una extraordinaria tasa de mejora de productos y una gran variedad de recursos para servirle.

Alto rendimiento: IBM ILOG CPLEX Optimizer ofrece la potencia necesaria para resolver grandes problemas de optimización del mundo real, además de la agilidad que requieren las aplicaciones interactivas de soporte a la toma de decisiones mediante análisis de hoy en día.

Sólido y fiable: una amplia base instalada nos permite mejorar IBM ILOG CPLEX Optimizer en cada versión. Todos los dispositivos nuevos se prueban en la biblioteca de modelos más grande y diversa del mundo.

Interfaces flexibles: los desarrolladores pueden interactuar con IBM ILOG CPLEX Optimizer de muchas formas durante el desarrollo y el despliegue de sus aplicaciones.

IBM ILOG CPLEX Optimizer es un componente de IBM ILOG CPLEX Optimización Studio que combina y simplifica las ofertas de productos de IBM para el desarrollo de

modelos de optimización, la resolución de los problemas que plantea y su despliegue. En un único paquete ofrece toda la funcionalidad que anteriormente estaba disponible por medio de una matriz de configuraciones de componentes y productos, para que todas las herramientas y tecnologías estén disponibles durante la creación de prototipos y su desarrollo.

IBM ILOG CPLEX CP Optimizer proporciona una tecnología de optimización complementaria basada en la programación con restricciones que es particularmente adecuada para la planificación detallada y otros problemas combinatorios difíciles de resolver.

Última versión: IBM ILOG CPLEX Optimización Studio 12.2 proporciona soluciones de MIP, especialmente en máquinas multiprocesadoras, conectores mejorados para

herramientas de modelado de otras partes, nuevas visualizaciones gráficas en los diagramas Gantt de IDE y funciones acumulativas, soporte mejorado a la sintaxis de modelos de planificación detallada y soporte de API a la búsqueda y propagación de programación con restricciones.

Sistemas operativos admitidos: AIX, HP-UX, Linux, Solaris (Sun Microsystems), Windows

Kimms (s.f) [1] menciona que un proyecto es un esfuerzo (con el recurso) para satisfacer los objetivos en un período de tiempo. La innovación es la creación e implementación de nuevas ideas que dan valor al cliente o negocio.

Kimms [2] propone crear nuevas ideas es necesario tener creatividad, conocimiento e imaginación para apoyar las estrategias de la organización.

Bassett (2000) [15] propone un proyecto de innovación tecnológica es un proyecto que es responsable de la creación e implementación de nuevas ideas tecnológicas que proporcionan valor al cliente o negocio.

Talbot (1982) [7] Propone el proceso de gestión de proyectos de innovación tecnológica o de producto se basa principalmente en la estimación de la asignación de los recursos humanos y financieros con cierta incertidumbre.

De Maio et al (1994) [10] menciona los factores que determinan la planificación de un proyecto de innovación tecnológica son: alcance, recursos y tiempo; adicional a estos factores, el tamaño y la complejidad del proyecto afectan en el proceso de innovación tecnológica.

Adeli y Karim (1997) [13] mencionan que los proyectos de innovación tecnológica intentan cumplir con los requisitos y expectativas de tiempo, costo y calidad de los procesos que conjuga una oportunidad del mercado con una necesidad y una invención tecnológica que tiene por objetivo la producción, comercialización y operación de un nuevo proceso, producto, actividad comercial, modelo de negocio, modelo de logística o servicio al cliente.

Shoulder y Moenaer (1992) [9] proponen la planificación de proyectos eficaces de la innovación tecnológica depende de la planificación detallada, anticipando problemas que pueden surgir y preparar soluciones tentativas a ellos.

Pritsker et al (1969) [5] menciona la asignación de recursos durante la etapa de la planificación de proyectos de innovación tecnológica no contar con una optimización con base en el alcance, el tiempo de desarrollo y los costos para determinar el equilibrio entre estos factores

Venkatraman (1995) [11] propone el comportamiento histórico en el desarrollo del proyecto para determinar con mayor exactitud la combinación y comportamiento de los

factores durante el desarrollo del proyecto. Existen varios trabajos relacionados con un problema de la planificación de un proyecto de innovación tecnológica.

Kelly (1963) [23] propone una técnica para modelar proyectos llamado método de camino crítico - Critical Path Method CPM [4]. CPM es conocido (de momento) como problema de programación del proyecto.

Pritsker et al (1969) [5] proponen el problema NP-hard [6] de la asignación de horarios que consiste en programar una serie de actividades (renovables y no renovables) en un tiempo determinado con recursos limitados llamados con recursos limitados el problema de programación de proyectos.

Talbot (1982) [7] presenta el problema NP-completo [8] de la selección de una combinación de tiempo y recursos de las actividades para minimizar el makespan total del proyecto denominado problema de planificación de proyecto de Multi-Mode Resource-Constrained.

Shoulder y Moenaer (1992) [9] presentan un marco para establecer la transferencia de información interfuncionales en las funciones de investigación y desarrollo de una empresa.

De Maio et al (1994) [10] propone un modelo interpretativo y un marco para la gestión de varios proyectos de desarrollo de nuevos productos.

Venkatraman (1995) [11] proponen un modelo para los proyectos de programas de investigación y desarrollo.

Schmidt y Grossmann (1996) [12] presentan un algoritmo de plano de corte y modelos matemáticos para la planificación del desarrollo de nuevos productos agrícolas, químicos y farmacéuticos.

Adeli y Karim (1997) [13] proponen un problema para seleccionar recursos (mano de obra, máquinas) y proyectos de construcción de sus obras (por ejemplo, programación de proyectos de construcción de la planificación de la construcción de la carretera) llamado problema de planificación de proyectos de la construcción.

Hendriks et al (1999) [14] propone optimizar la asignación de recursos en una empresa de investigación y desarrollo.

Bassett (2000) [15] presenta proyectos regulares de investigación y desarrollo de las empresas químicas tengan en cuenta las ventanas de tiempo de las actividades y los recursos humanos externos.

Certa et al (2006) [16] presentan un modelo para maximizar la correcta utilización de las capacidades humanas de los proyectos de investigación y desarrollo.

Sun y Ma (2005) [17] proponen un modelo de multi-mochilas y un algoritmo heurístico para el cronograma de los recursos humanos de los proyectos de investigación y desarrollo.

Yoshimura et al (2006) [18] presentan un enfoque para seleccionar recursos humanos con diferentes niveles de habilidades de investigación y desarrollo de proyectos.

Huang (2009) [19,20] propone la asignación de recursos humanos tomando en cuenta sus aptitudes, tiempo y esfuerzo en un proyecto de desarrollo de software.

Bartels y Zimmermann (2009) [21] introducen un enfoque para resolver el proyecto con recursos limitados de varios modos de funcionamiento.

Heimerl y Kolisch (2010) [22] proponen resolver mediante el software CPLEX la gestión de RRHH en el proyecto de tecnología de información.

Colvin y Maravelias (2011) [24] proponen resolver y planificar las tareas de programación estocástica del problema de gestión de investigación y desarrollo.

Panget al (2011) [25] presentan un sistema que permite acelerar el proceso de investigación y desarrollo de industrias de Mecatrónica.

Ranjbar y Davari (2013) [26] proponen resolver por medio de un algoritmo de Branch-and-Bound las actividades de desarrollo para maximizar el valor presente neto de los productos nuevos de proyectos de tecnología alternativa.

Yang y Fu (2014) [27] proponen resolver el problema de planificación de recursos varios proyectos de investigación y desarrollo en automóviles chinos.

Kelly (1996) [1] propone una técnica para modelar proyectos llamado método de camino crítico - Critical Path Method CPM [4]. CPM es conocido (de momento) como problema de programación del proyecto [23].

Pritsker et al (1969) proponen el problema NP-hard [6] de la asignación de horarios que consiste en programar una serie de actividades (renovables y no renovables) en un tiempo determinado con recursos limitados llamados con recursos limitados el problema de programación de proyectos [5]

Heimerl y Kolisch (2010) [22] presenta un nuevo modelo matemático del problema de la planificación de proyectos de innovación tecnológica (PSP-TI), la caracterización de las instancias de PSP-TI y las soluciones por el software CPLEX.

Los organismos públicos de Ciencia y Tecnología fueron creados antes de existir el CONACYT y una Ley General de Ciencia y Tecnología. Por consiguiente, la tónica en la

creación de tales organismos y su funcionamiento ha sido la de instauración de instituciones aisladas y descoordinadas. (Presidencia de la República del Paraguay)

La Planeación Estratégica consiste en ordenar los objetivos y las acciones en el tiempo; se basa en la selección de medios, objetivos y metas relacionados con la problemática a resolver desde un punto de vista del tiempo, costo y alcance. Para Newell (2010),

La Complejidad computacional de los casos es una medida de la complejidad computacional relacionada con los casos individuales (la especificación de determinados valores en los parámetros de un problema (Garey y Johnson, 1979)) de una cadena x con respecto a un conjunto A y en un plazo de tiempo determinado t (Knuth, 1976).

Antonio M. y Navarro López (2009) [1] Mencionan que todo proyecto se divide en distintas fases, habitualmente secuenciales, que permiten un control sobre la evolución del proyecto y habilitan su gestión. El conjunto de fases de un proyecto se denomina "ciclo de vida".

La planificación es el proceso de definir el curso de acción y los procedimientos requeridos para alcanzar los objetivos y metas. Implica la selección y utilización de materiales y herramientas junto con la organización y gestión de los pasos a seguir.(Programa de Estudio Tecnología, Ministerio de Educación, Chile.)

Faustino Pérez Hernández (2008) El Proyecto recibe también las denominaciones de “Protocolo” y de “Propuesta”; sin embargo, si entendemos la investigación como un proyecto que debe realizarse, el protocolo puede visualizarse como el documento que resume el proyecto de investigación que se ejecutará.(Facultad de Ciencias Médicas .

Desarrollar un modelo matemático que ayude al avance de la optimización de recursos en la región y, en segundo lugar, porque estará innovando en conocimientos certeros que ayuden a optimizar los recursos y asegurar eficiencia en elaboración de proyectos. (El Sol de Sinaloa 8 de agosto de 2014)

Surgen nuevos mercados por el desarrollo de nuevas tecnologías, la aplicación de tecnologías existentes a productos nuevos y los problemas medioambientales que crea la tecnología (Grant 2000).

Este artículo describe las nuevas recocido simulador (SA – Simulated Annealing) algoritmos para la programación de proyectos con recursos limitados problema (RCPSP) y su versión en modo múltiple (MRCPSP). La función objetivo es considerada minimización de la makespan. El esquema convencional de búsqueda SA se sustituye por un nuevo diseño que tenga en cuenta la especificidad de la espacio de la solución de problemas de programación de proyectos (Bouleimen and Bouleimen, K. and Lecocq, H. (2003). A new efficient simulated annealing)

En este trabajo se aborda un problema de programación con un total acumulado de las limitaciones de recursos y de energía - continuos. Dado un conjunto de tareas que no son de preferencia, cada tarea requiere un recurso continuamente divisible. El uso de recursos instantánea de una tarea está limitada por un mínimo y máximo de recursos. (Margaux Nattaf, Christian Artigues, Pierre Lopez. 2015).

Este artículo refiere que un modelo es una representación simplificada del mundo. Capability Maturity Modelos (MMC) contienen los elementos esenciales de los procesos eficaces para uno o más cuerpos de conocimiento . Estos elementos se basan en el conceptos desarrollados por Crosby, Deming , Juran , y Humphrey [Crosby 79 , 88 Juran , Deming 86 , Humphrey 89] .

La evaluación del desempeño realizado en los casos de referencia disponibles en la literatura demostrado la eficacia de ambas adaptaciones que se encuentran actualmente entre los algoritmos más competitivos para estos problemas.(K. Bouleimen, H. Lecocq / European Journal of Operational Research 149 (2003) 268–281)

La gestión eficaz de los proyectos de software complejos depende de la capacidad para resolver problemas de optimización , sutiles complejas . La mayoría de los estudios sobre la gestión de proyectos de software no prestan suficiente atención a los problemas difíciles, tales como asignaciones - empleado - a tareas , que requieren horarios óptimos y uso cuidadoso de los recursos .(Chang et al, 2008 Chang, C.K., Jiang, H-y., Di, Y., Zhu, D. and

Ge, Y.(2008). Time-line based model for software project scheduling with genetic algorithms. *Information and Software Technology*, 50(11): 1142-1154)

La asignación eficiente del presupuesto es uno de los factores esenciales para garantizar el cumplimiento de las metas trazadas por una organización. Siendo, el estado una entidad que por su naturaleza cuenta con recursos financieros limitados, la asignación presupuestal de las entidades públicas viene a ser un factor crítico para la consecución de los objetivos trazados (Programación financiera de proyectos y actividades 2012 600. 2008. 2009. 2010. 2011. 2012).

Hoy en día los problemas de optimización surgen en todas las ramas de la industria, como en diseño de procesos, producción, logística e incluso en plan estratégico. La optimización es una herramienta que trata de identificar los máximos y los mínimos (selección del mejor elemento) dentro de todos los posibles generados por una función objetivo, que toma valores en función de los que toma cada una de las variables que la integran (AIMMS Web, 2010 Optimization Software for Mathematical Programming).

Ete articulo aborda Los algoritmos genéticos que se han aplicado a diversos problemas de optimización y son una de las metaheurísticas más prometedoras. Sin embargo, hay pocos estudios publicados sobre el diseño de algoritmos genéticos eficientes para la asignación de recursos en la programación de proyectos (Annals of Operations Research February 2001, Volume 102, Issue 1, pp 83-109).

En este trabajo se presenta un algoritmo robusto para el problema de programación de proyectos con recursos limitados de modo único. Proponemos una nueva representación de las soluciones, sobre la base de la representación lista de actividades estándar y desarrollar nuevas técnicas de cruce con un buen rendimiento en una amplia muestra de proyectos (Alcaraz, J.and Maroto, C. (2001)).

Este artículo trata de La utilización de la planificación incierta lleva a proyectar la programación con una mayor estabilidad frente a variaciones ambientales. En este trabajo se presenta un nuevo modelo óptimo para el problema disyuntiva tiempo-costo en el ambiente difuso. Para solucionar este problema , se desarrolla un nuevo método de solución para los problemas de programación meta posibilidad. Una aplicación de la programación por metas posibilidad al problema del comercio de tiempo-costo (- Ghazanfari, M., Shahanaghi, K. and Yousefli, A. (2008).)

Este trabajo considera la heurística de la conocida programación de proyectos con recursos limitados (RCPSP). Esta heurística permite resumir y clasificar un gran número de heurísticas que recientemente se han propuesto. La mayoría de estas heurísticas se evalúan entonces en un estudio computacional y comparación sobre la base de nuestro diseño experimental estandarizada. Basado en el resultados computacionales que discuten características de buenas heurísticas (Hartmann, 2001 Hartmann, S. (2001). Project scheduling.)

Este artículo presenta un nuevo modelo matemático del problema de la planificación de proyectos de innovación tecnológica (PSP-TI), la caracterización de las instancias de PSP-

TI y las soluciones por el software CPLEX. En la sección 2 se encuentran los trabajos relacionados, las herramientas y métodos usados, la formulación del nuevo modelo matemático y la caracterización del problema, en la sección 3 presenta la experimentación del problema por el software CPLEX y la última sección presenta las conclusiones.

CAPÍTULO III. OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS DE LOS PROYECTOS DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DE EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA Y CIENTÍFICA.

Un problema de la planificación de proyectos de innovación tecnológica (PSP-TI) es una variante del problema de calendarización de proyectos (PSP) [23]. Los problemas de planificación de proyectos podría utilizarse para modelar muchos problemas reales de planificación de proyectos de desarrollo de software, gestión de fabricación, innovación y gestión tecnológica, industria de la construcción, gestión de proyectos de gobierno, servicios financieros, programación de la máquinas, gestión de transporte y otros.

El problema de la planificación de los proyectos de innovación tecnológica consiste en la optimización de la asignación de recursos humanos tomando en cuenta sus habilidades, limitaciones, tiempo y procesos de la empresa manteniendo la duración presupuestada del proyecto, uso de recursos y costos. Los parámetros generales de PSP-TI son:

- A. recursos. Los recursos son aquellos elementos que dan cuenta de las actividades de un proyecto de innovación tecnológica.

- B. actividades. Las actividades se definen como un conjunto de operaciones de una organización.

Proponemos un nuevo modelo matemático del problema de optimización de los recursos financieros de proyectos de innovación tecnológica o del problema de planificación de proyectos de innovación tecnológica (PSP-TI). El modelo matemático de PSP-TI está formado por las ecuaciones 1-6:

<p><i>Variables:</i></p> <p><i>W</i> Costo Base del trabajador o salario del trabajador</p> <p><i>w</i> conjunto de personas (trabajadores) en el proyecto.</p> <p><i>q</i> Conjuntos de habilidades de los trabajadores.</p> <p><i>S_w</i> Costo por habilidades de los trabajadores.</p> <p><i>A</i> Un conjunto de actividades del proyecto.</p> <p><i>C_a</i> Costo por actividad del proyecto.</p> <p><i>D_p</i> Duración del proyecto.</p> <p><i>t_a</i> Duraciones de las actividades.</p> <p><i>M_t</i> Periodo de tiempo de la actividad.</p> <p><i>s</i> Porcentaje de horas extras para cada actividad.</p> <p><i>H</i> Tiempo de trabajo (horas) considerado por la empresa.</p>
--

Tabla 1. Declaración de las Variables

$$Z = \min \sum_{i=1}^n C_{a_i} t_{a_i} \quad i = \{1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

$$C_{a_i} = \sum_{w=1}^m \sum_{q=1}^r (W_w + S_{qW_w}) t_{a_i} ; \quad i = \{1, 2, \dots, n\}, w = \{1, 2, \dots, m\}, q = \{1, 2, \dots, r\} \quad (2)$$

$$t_{a_i} = ((H / A) - Mt_{a_i}); \quad i = \{1, 2, \dots, n\}, \quad A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \quad (3)$$

$$T_p = D_p + \sum_{i=1}^n Mt_{a_i}; \quad i = \{1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

$$D_{p_i} = \sum_{k=1}^j t_{a_k} < H \quad (5)$$

$$Mt_{a_k} = (s) * (H / A_{p_i}) / 100\% \quad (6)$$

Tabla 2. Desarrollo de las ecuaciones

La ecuación (1) es la minimización del costo del proyecto de innovación tecnológica, donde: C corresponde con el costo, a corresponde a las actividades del proyecto, t es el tiempo para las actividades involucradas en el proyecto, i es el número de actividades planeadas en el proyecto.

La ecuación (2) es el costo por actividad del proyecto. C_a contiene el costo base por trabajador W_w más el costo adicional de las habilidades de cada trabajador S_{qW_w} por la duración de tiempo de la actividad t_{ai} . Dónde: i representa el número de la actividad del proyecto, w representa el número de trabajadores involucrados en cada actividad, q representa el conjunto de habilidades, el cual es inicialmente definida como el costo adicional de la habilidad de cada trabajador S_{qW_w} , C_a corresponde al costo por actividad del

proyecto y $1 = \text{programador}, 2 = \text{diseñador}, 3 = \text{técnico}, \dots, r-1, r$. El costo por actividad del proyecto C_a involucre el costo base por trabajador W_w más el costo de la habilidad de cada trabajador S_{qw} , por el tiempo que toma realizar la actividad en cuestión t_{ai} .

En la ecuación (3) el tiempo de desarrollo total del proyecto está limitado por los tiempos de llamada que son generalmente 12 meses equivalentes a 365 días del año de 8 horas diarias para un total de 2920 horas tomando en cuenta sábados, domingos y días festivos. Si se toma un promedio de 20 días laborables al mes, tendría 240 días, cuando se multiplica por la jornada de 8 horas se tendrán la media de 1920 horas dedicadas al desarrollo del proyecto. Entonces sería una actividad de tiempo 1920 entre el número de actividades. Por ejemplo, suponiendo que el proyecto tiene 25 actividades de la misma complejidad, entonces $1920/25 = 76.8$ horas para cada actividad. Esta cantidad será restada del 10% de 76.8 (Mt_{ai}) y ese resultado corresponde con el tiempo neto de cada actividad. Posteriormente, dependiendo del número de proyecto de actividades la duración de cada actividad t_{ak} debe limitarse a la ecuación (3).

En la ecuación (4) el tiempo de termino estimado del Proyecto T_p está compuesto por el tiempo de duración del proyecto D_p , más un rango de tiempo por actividad M_t .

En la ecuación (5) se menciona que la duración del proyecto D_p es la suma de todos los tiempos que se lleva realizar cada actividad considerada en el Proyecto y puede ser menos tiempo que la jornada diaria de trabajo en horas H considerada por la empresa para realizar el proyecto.

La ecuación (6) menciona que la ventana de tiempo por actividad M_t se considera un plazo de tiempo disponible en caso de no concluir la actividad en el tiempo establecido. Toma un porcentaje de tiempo del total señalado para el proyecto, es decir, si el total de horas establecido para el proyecto es $H = 1920$ y el número de actividades consideradas A_{pi} es 25, entonces el tiempo en horas por actividad es $t_{ak} = 76.8$ hrs. Teniendo en cuenta un $s = 10\%$ de tiempo adicional como margen de M_t y tenemos $10 * 76.8/100 = 7.68$ horas, restar esta cantidad de la t_{ak} y conseguimos $76.8 - 7.68 = 69.12$ higiene el tiempo dedicado a cada actividad. El porcentaje de tiempo está disponible para la empresa con respecto a las actividades del proyecto. Entonces $H/A_{pi} = 1920/25 = 76.8$ y $M_t = 10 * 76.8 / 100 = 7.68$.

El lenguaje L_1 del PSP-TI fue transformado polinomialmente en un lenguaje L_2 del Problema de planificación de Proyectos - PSP ($L_1 \leq_P L_2$) ó (PSP-TI \leq_P PSP). Entonces, con la transformación polynomial de las instancias de PSP-TI en instancias de PSP, concluimos que el problema de planificación de proyectos de innovación es NP-difícil ó NP-hard.

MODELO MATEMATICO

El modelo matemático que se presenta en este capítulo responde a las necesidades del CONACYT para optimizar los costos de los proyectos de innovación tecnológica que les son presentados por los investigadores. El modelo completa los parámetros generales que se incluyen en cada proyecto.

Elementos del modelo

El modelo matemático del problema de optimización de recursos financieros del proyecto de innovación tecnológica tendrá los siguientes elementos:

Pi	Conjunto de proyectos aceptados.
W	Costo base del trabajador o sueldo base del trabajador
W	Conjunto de personas involucradas(trabajadores)en el proyecto workers
Q	Conjunto de habilidades del trabajador W (skills)
Sw	Costo por habilidad del trabajador W (skills)
Tp	Tiempo estimado de conclusión del proyecto
Ap	Conjunto de actividades del proyecto
CPI	Costo del proyecto(sugerida por el algoritmo)
Ca	Costo por actividad del proyecto
Bp	Presupuesto solicitado del proyecto
IEp	Costo de infraestructura y equipo solicitado para el proyecto
Bd	Presupuesto CONACYT(recurso disponible para proyectos

Dp	Duración del proyecto
Ta	Duración de actividades
Mt	Margen de tiempo por actividad
s	Porcentaje de tiempo adicional considerado para cada actividad
H	Tiempo en horas laborable considerado por la empresa
FT	Fondo total de dinero para proyectos CONACYT
CIpi	Costo de infraestructura
CEpi	Costo de equipo requerido para elaboración del proyecto

Tabla 3. Elementos del modelo matemático.

Ejemplo:

W_{pi} {Juan \$5, Pedro \$3, Salomón \$10, Sara \$10, ..., n-1, n} sueldo base por día laboral

W_{pi} {Juan, Pedro, Solomon, Sara, ..., n-1, n} trabajadores

q_w {programación, arquitectura, seguridad, hardware, ..., m-1, m} habilidades

S_{qw} {programación \$20, arquitectura \$10, seguridad, hardware, ..., m-1, m} sueldo adicional por la habilidad por hora

A_p {a1, a2, a3, a4, ..., an-1, an} conjunto de actividades del proyecto

Consideraciones del Modelo:

- Cada trabajador contemplado en el proyecto tienen asignado un sueldo base fijo y una serie de habilidades con costos variables, los cuales en su conjunto y dependiendo de la asignación que dé el modelo al proyecto se determinará su salario final.
- Las horas de trabajo tendrá un límite.
- Cada trabajador podrá desempeñar más de una actividad si sus habilidades lo permiten.

Restricciones del Modelo:

1. El presupuesto del proyecto B_{pi} es el resultado de la suma de los costos de cada una de las actividades más el costo de infraestructura IE_{pi} del proyecto

$$\sum_{i=1}^n B_{pi} = \sum_{k=1}^j C_{a_{kpi}} + IE_{pi}$$

$$i = \{1,2,3,4,5,\dots, n-1, n\}$$

$$k = \{1,2,3,4,5,\dots, j-1, j\}$$

Fórmula 6. Restricción 1

Donde i corresponde al índice del número de proyecto seleccionado, P_i corresponde al proyecto en cuestión, k corresponde al índice de actividades del proyecto, C_a corresponde

al costo por actividad del proyecto e **IE** corresponde al costo de la infraestructura solicitada en el proyecto P_i

2. El costo total del presupuesto asignado a cada proyecto priori **B_d** es el estimado del total del fondo CONACYT para proyectos **F_T** entre el numero de solicitudes de proyectos debidamente seleccionados.

$$i = \{1,2,3,4,5,\dots, n-1,n\}$$

Formula 7. Restriccion 2

Donde **P_i** son los proyectos seleccionados y aceptados para apoyo y **F_T** es el total de presupuesto con que cuenta CONACYT para apoyar a las solicitudes de proyectos, por ejemplo si se tiene un total de 10 proyectos aceptados y un total del presupuesto de 1000 pesos a cada proyecto correspondería (1000/10=100 pesos estimado para cada proyecto)

3. La suma del monto total del presupuesto del proyecto **B_{pi}** no debe exceder el costo total del presupuesto asignado **B_d** o disponible.

$$\sum_{i=1}^n B_{pi} \leq B_d$$

$$i = \{1,2,3,4,5,\dots, n-1, n\}$$

Fórmula 8. Restricción 3

4. El costo por actividad de cada proyecto de innovación tecnológica involucra al costo base por trabajador W_w mas el costo adicional de la habilidad de cada trabajador $S_q w_w$ por el tiempo que tarda en realizar la actividad en cuestión t_{ak} .

Presentamos los parámetros o caracterización del problema de planificación de proyectos de innovación tecnológica (PSP-TI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México. Se generaron un conjunto de instancias de 25 casos generados al azar de los proyectos solicitados para ser financiados de CONACYT dentro del programa de estímulo a la investigación, desarrollo tecnológico e innovación (I+DTI). I+DTI incluye 3 tipos de proyectos de innovación tecnológica: A) innovación tecnológica para micro, pequeñas y medianas empresas (INNOVAPYME). Modo dedicado a propuestas y proyectos cuyo solicitante es una empresa PYME. B) innovación tecnológica para las grandes empresas (INNOVATEC). Modo dedicado a propuestas y proyectos cuyo solicitante es un negocio o empresa grande. C) Red proyectos enfocados en la innovación (PROINNOVA). El modo dedicado a propuestas y proyectos presentados en relación con al menos dos universidades o centro de investigación. Utilizamos la nomenclatura de instancias: PSP-TI (nombre del problema), T (tipo de programa), # (número de casos), .psp (extensión del archivo), por ejemplo: PSP-TI-PYME-1. PSP. Pueden descargarse las instancias de experimentación desde el sitio PSPTILib. (www.ruizvanoye.com/PSPTILib.html). En la tabla 1 se muestra las características de las instancias de PSPTILib. En la tabla 2 se encuentran los parámetros para generar las instancias de PSP-TI.

Tipo de Programa de Innovación	Trabajadores (Max)	Tareas (Max)	Habilidades (Max)
innovación tecnológica para micro, pequeñas y medianas empresas	20	30	10
innovación tecnológica para las grandes empresas	40	40	15
Red proyectos enfocados en la innovación	60	50	20

Tabla 4. Repositorio de instancias PSP-TI.

NOMBRE DE LA INSTANCIA					
NÚMERO DE TAREAS (nt)	NÚMERO DE TRABAJADORES (nw)	NÚMERO DE HABILIDADES (ns)	FECHA DE LANZAMIENTO (rd)	FECHA DE VENCIMIENTO (dd)	PENALIZACIÓN (pc)
Número	Número	Número	Número	Número	Número
Nivel de Habilidad	Salario/HR (USD)	HABILIDADES	HABILIDADES	HABILIDADES	HABILIDADES
SL_1	Sa_1	Sk_1	Sk_2	Sk_3	Sk_4
...
SL_5	Sa_{ns}	Sk_{ns}	Sk_{ns}	Sk_{ns}	Sk_{ns}
NÚMERO DE TRABAJADOR	NIVEL DE HABILIDAD	TIEMPO/HRS			
W_1	ALEATORIO	ALEATORIO			

	ENTRE (1,5)	ENTRE (500-1000)			
...			
W_{nw}	ALEATORIO ENTRE (1,5)	ALEATORIO ENTRE (500-1000)			
		TOTAL HRS (TH)			
TAREAS	TIEMPO (tt)	C_{ij}	NIVEL DE RESTRICCIÓN DE HABILIDADES	SUCESORES	COSTO
TN_1	ALEATORIO ENTRE (20, TH/nt)	ALEATORIO ENTRE (1,5)	ALEATORIO ENTRE (1,5)	ALEATORIO ENTRE (0, nt)	$tt * C_{ij}$
...
TN_{nt}	ALEATORIO ENTRE (20, TH/nt)	ALEATORIO ENTRE (1,5)	ALEATORIO ENTRE (1,5)	ALEATORIO ENTRE (0, nt)	$tt * C_{ij}$
	TOTAL HRS				COSTO TOTAL

Tabla 5. Instancias PSP-TI.

CAPÍTULO IV. EXPERIMENTACIÓN DE LA APORTACIÓN

En la figura 1 se presenta el modelo matemático implementado en la herramienta AIMMS. En esta herramienta se utilizó el método CPLEX para realizar la estimación de la calendarización de los proyectos de innovación tecnológica. Por otra parte, en esta figura se presentan:

- Conjunto de datos
- Parámetros
- Variables
- Restricciones
- Modelo matemático

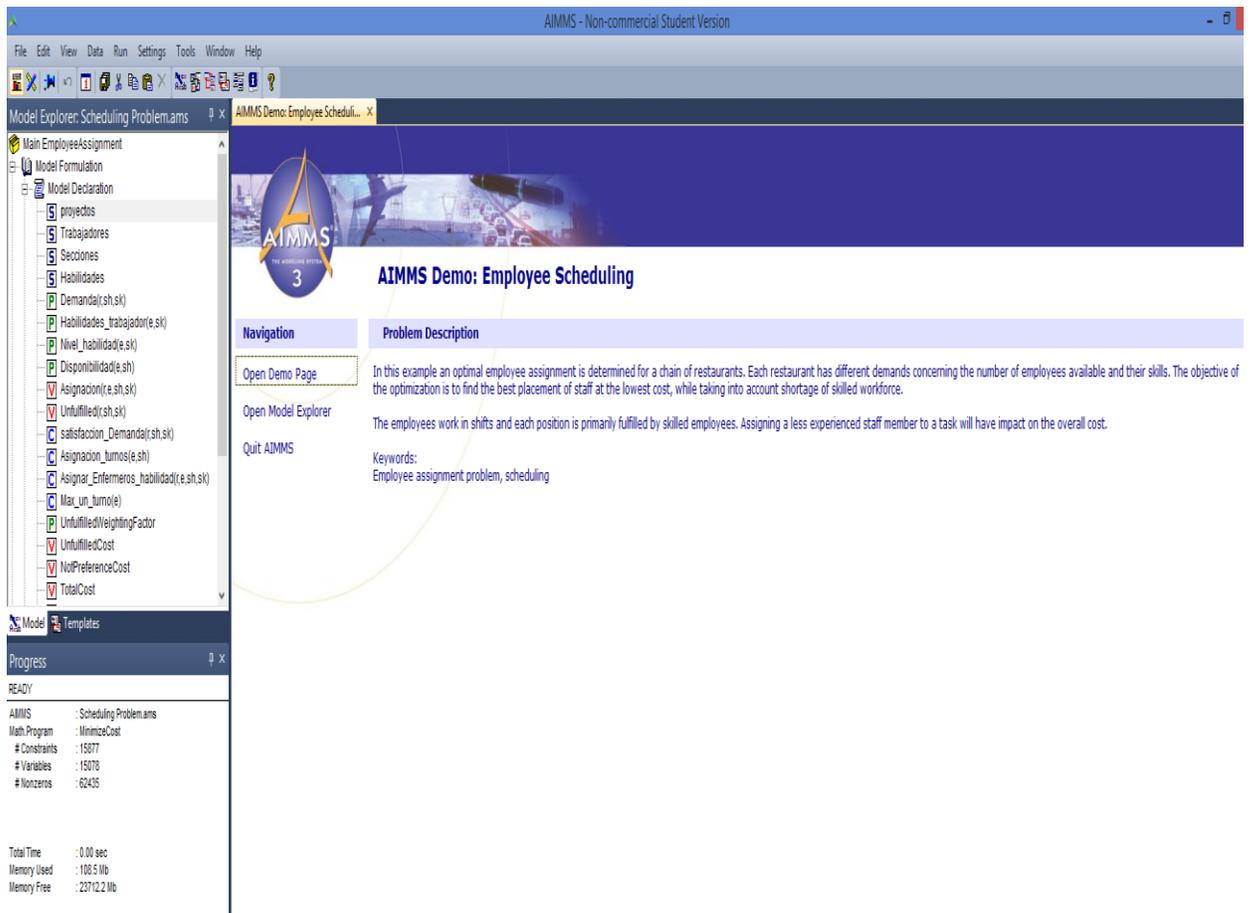


Fig 1. Vista principal del simulador AIMMS

En la figura 2 se presenta la declaración del conjunto de datos (set) identificado por la palabra proyectos, donde se guardarán todos aquellos proyectos que serán resueltos. Como parte de la descripción de cada conjunto de datos, éstos deben contar con un parámetro asociado y un indicador de orden.

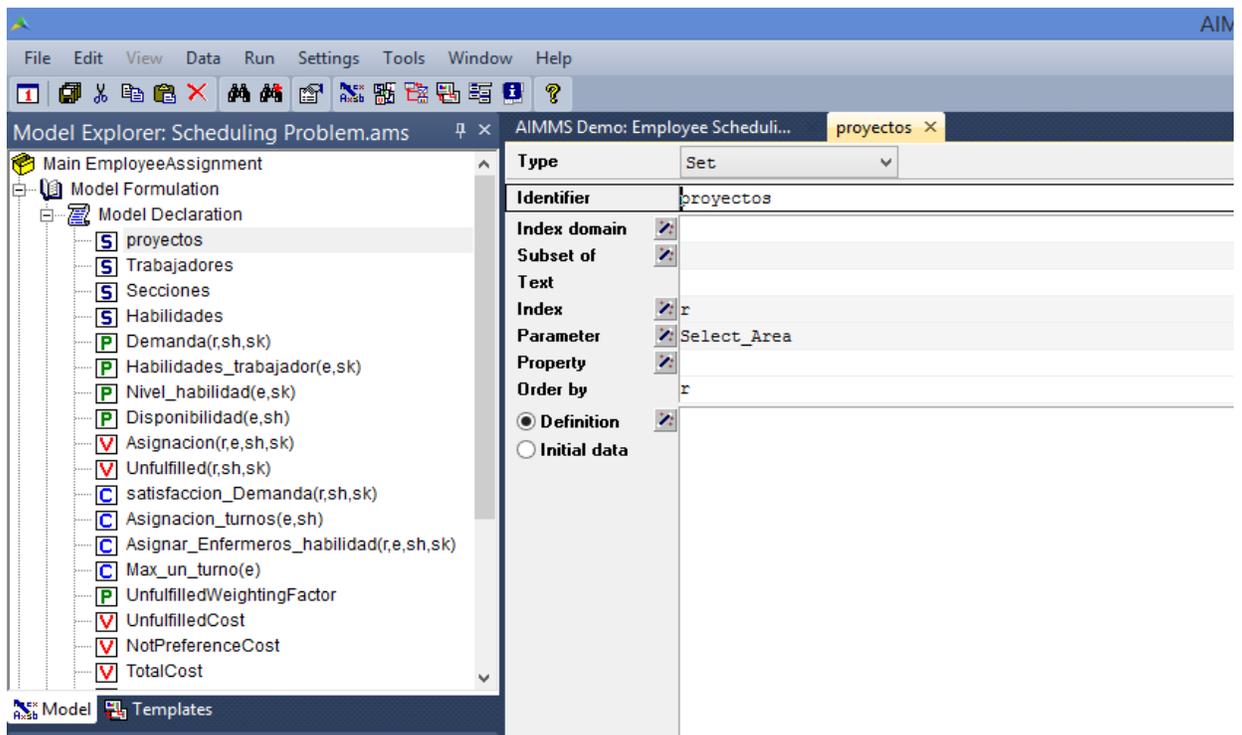


Fig 2. Declaración del conjunto de datos de los proyectos (set)

En la figura 3, se muestra el listado de proyectos que se utilizaron en la etapa de pruebas, dadas las características de los proyectos, éstos no se pueden presentar de forma abierta por los documentos de confidencialidad.

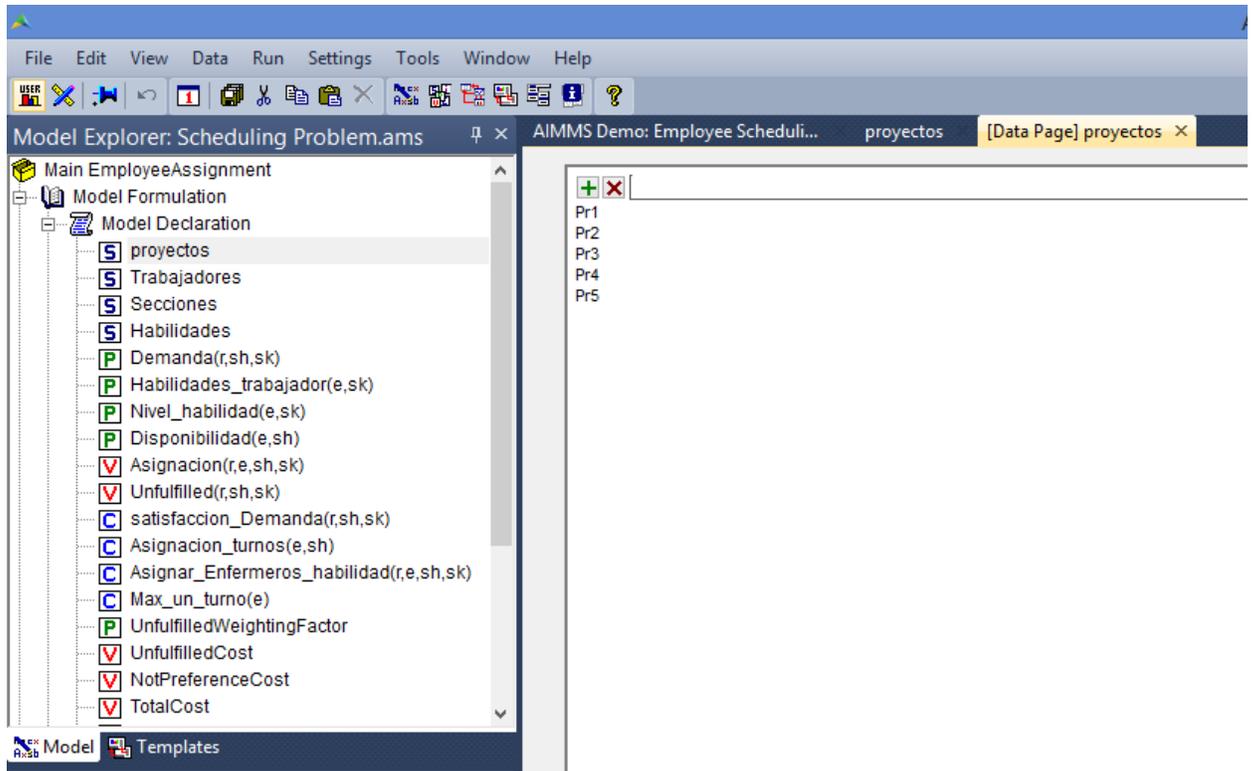


Fig 3. Ejemplo de proyectos

En la figura 4 se muestra la declaración del conjunto de trabajadores; de acuerdo a las características del simulador AIMMS, se deberán capturar todas las personas que se involucrarán en el desarrollo del proyecto, considerando los diferentes perfiles que serán utilizados en cada proyecto.

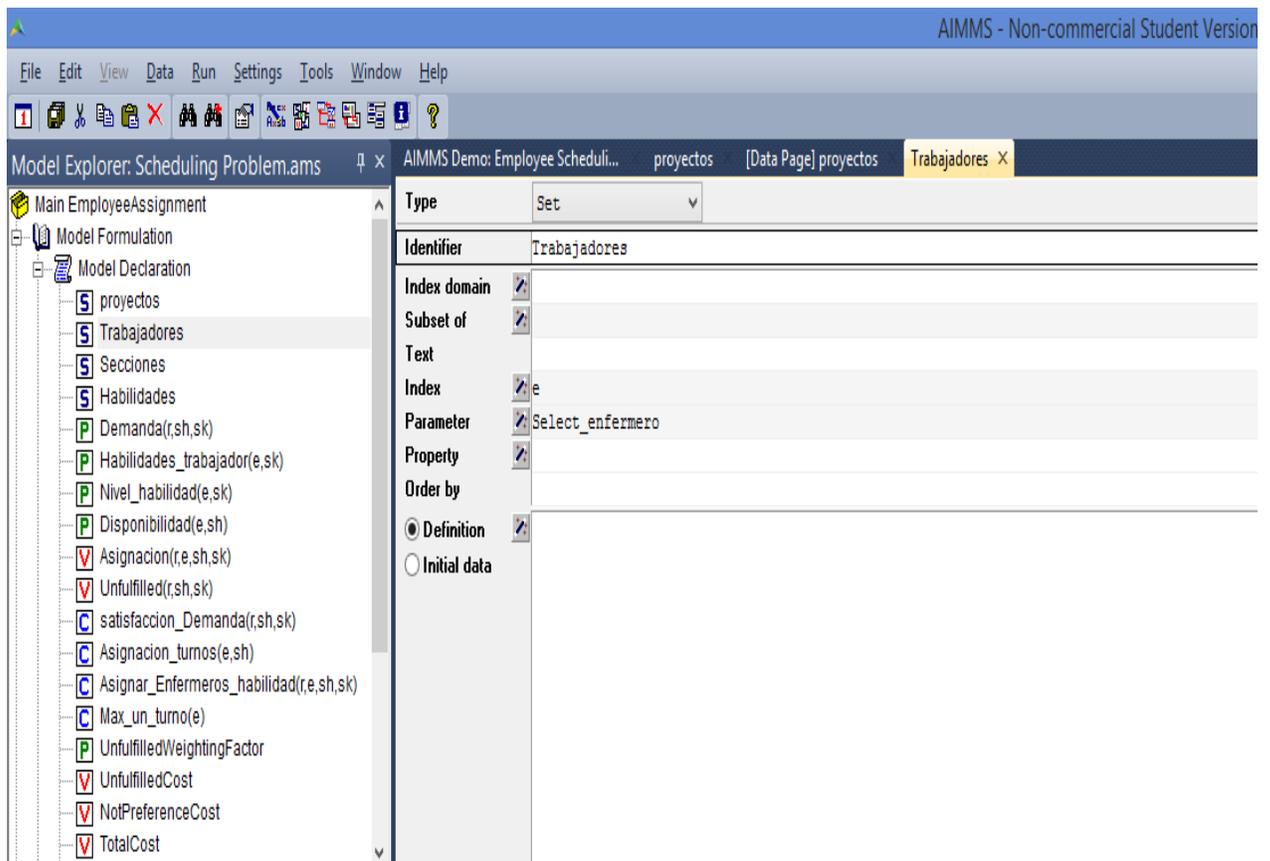


Fig 4. Declaracion de conjunto de datos de los trabajadores.

La figura 5 muestra un ejemplo de listado de trabajadores, donde cada uno posee diferentes habilidades.

The screenshot displays the AIMMS interface for a scheduling problem. On the left, the 'Model Explorer' shows a tree structure for 'Main EmployeeAssignment', including 'Model Declaration' and 'Model Formulation'. The 'Model Declaration' section lists various entities and their skills, such as 'proyectos', 'Trabajadores', 'Secciones', 'Habilidades', and 'Demanda(r,sh,sk)'. The 'Model Formulation' section lists mathematical expressions like 'Habilidades_trabajador(e,sk)', 'Nivel_habilidad(e,sk)', 'Disponibilidad(e,sh)', 'Asignacion(r,e,sh,sk)', 'Unfulfilled(r,sh,sk)', 'satisfaccion_Demanda(r,sh,sk)', 'Asignacion_turnos(e,sh)', 'Asignar_Enfermeros_habilidad(r,e,sh,sk)', 'Max_un_turno(e)', 'UnfulfilledWeightingFactor', 'UnfulfilledCost', 'NotPreferenceCost', and 'TotalCost'.

On the right, a window titled 'AIMMS Demo: Employee Scheduling...' displays a list of workers and their skills. The list is organized into columns, with each worker's name followed by their assigned skills. For example, Sue Q has skills Pete G, Joe J, and Pete I. The list continues with many other workers and their corresponding skill sets.

At the bottom, the 'Progress' window shows the status 'READY' and provides summary statistics for the model:

AIMMS	: Scheduling Problem.ams
Math.Program	: MinimizeCost
# Constraints	: 15877
# Variables	: 15078
# Nonzeros	: 62435
Total Time	: 0.00 sec
Memory Used	: 108.5 Mb
Memory Free	: 29712.2 Mb

Fig 5. Ejemplo de trabajadores

En la figura 6 se declaran las secciones en que se han dividido de manera general los proyectos; es decir, las secciones se pueden considerar las etapas de un proyecto de carácter tecnológico.

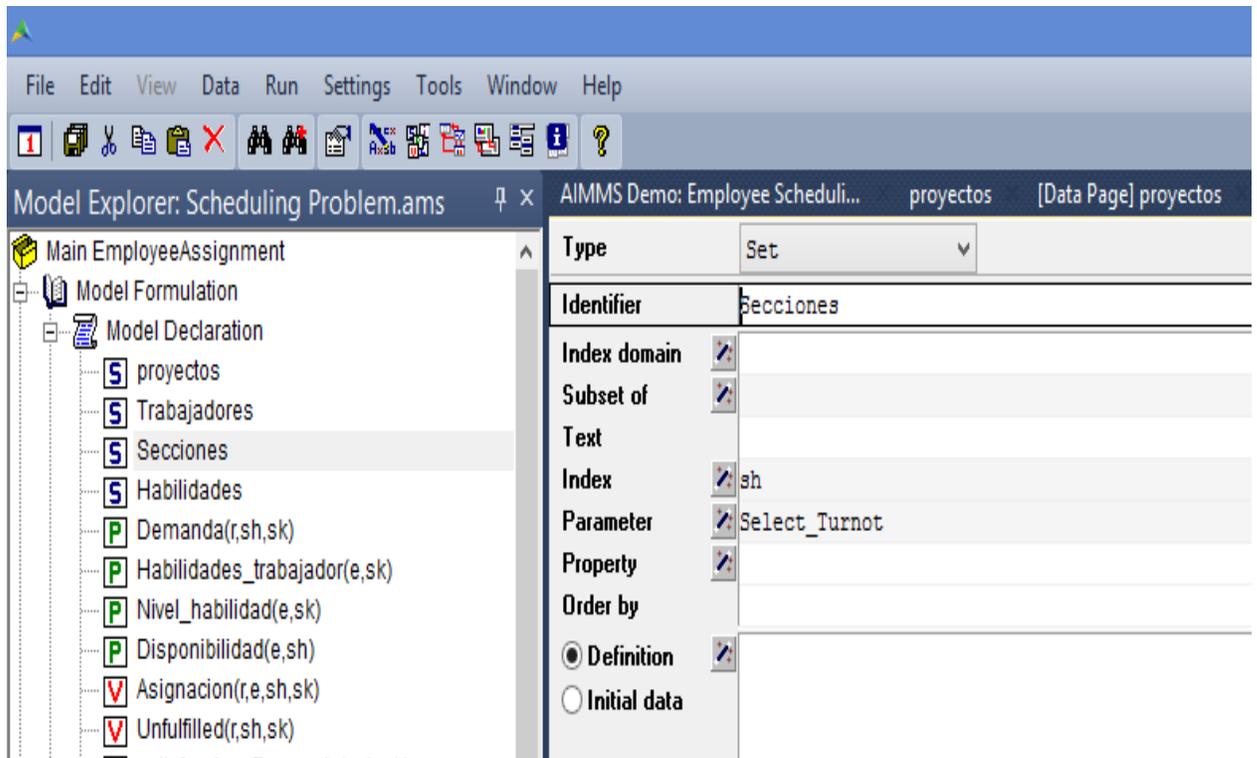


Fig 6. Declaracion de conjunto de datos de las secciones.

Para los datos de prueba, se decidió estructurar un proyecto en tres etapas (figura 7):

- Etapa 1 o inicial
- Etapa de desarrollo o etapa 2 y,
- Etapa 3 o cierre.

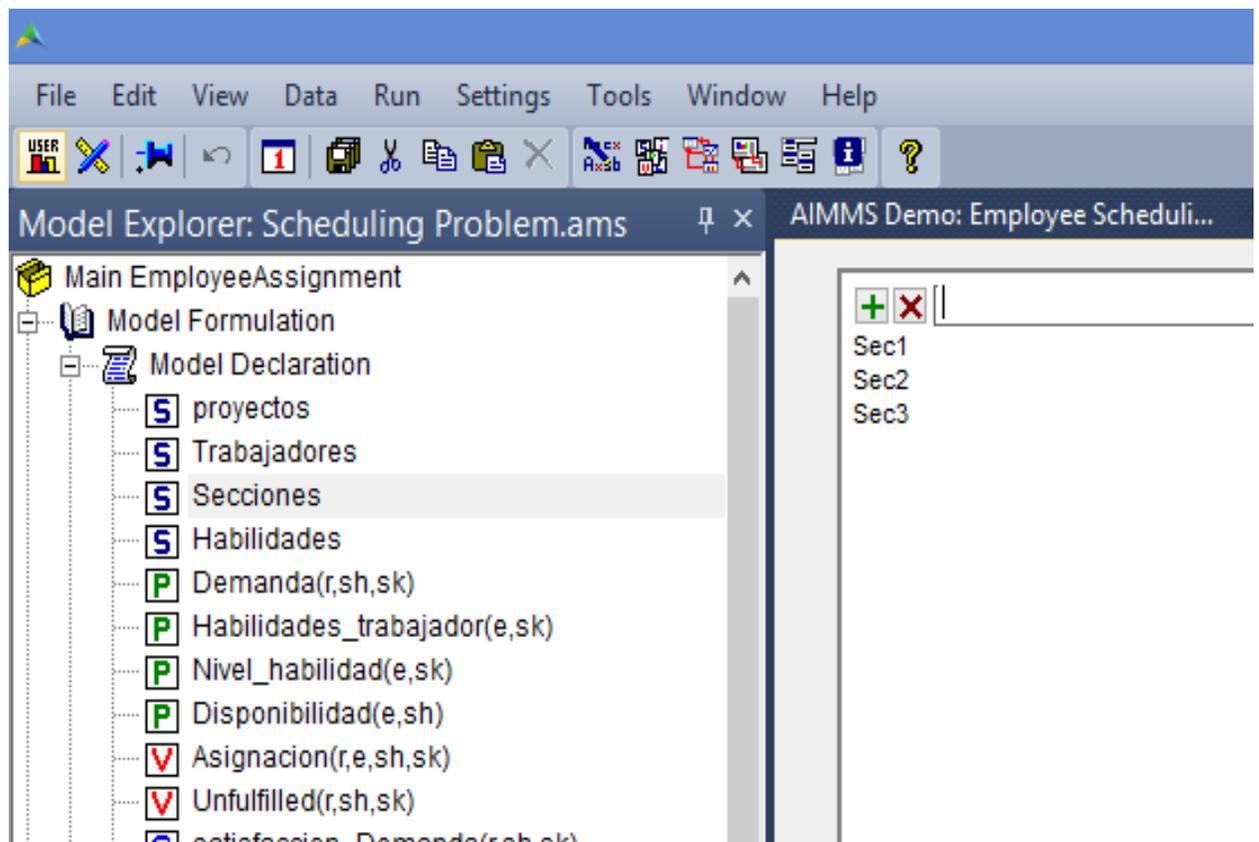


Fig 7. Ejemplo de las secciones.

Es prioritario para el desarrollo de los proyectos, que los trabajadores tengan asignadas ciertas características que deberán tener para el desarrollo de los proyectos. De esta manera, se realizará un estudio comparativo entre los trabajadores, donde se analizará el costo – beneficio que se tiene al contratarlos, es decir, el salarios que solicitan vs el nivel de habilidad que poseen.

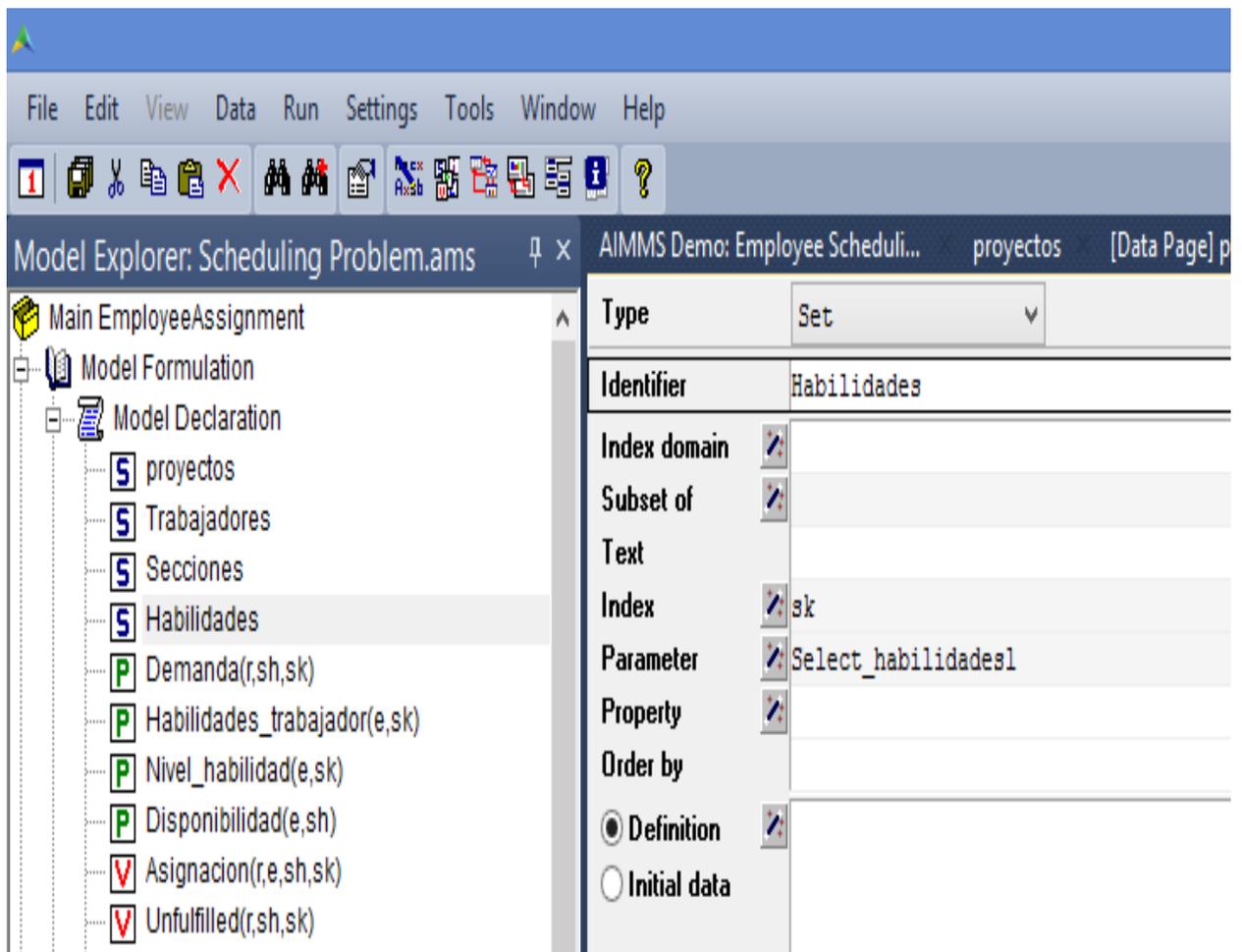


Fig 8. Declaracion de conjunto de datos de las habilidades.

En la figura 9 se ha diseñado el parámetro de demanda, es decir, todos aquellos requerimientos que necesitan ser cubiertos en tiempo y forma.

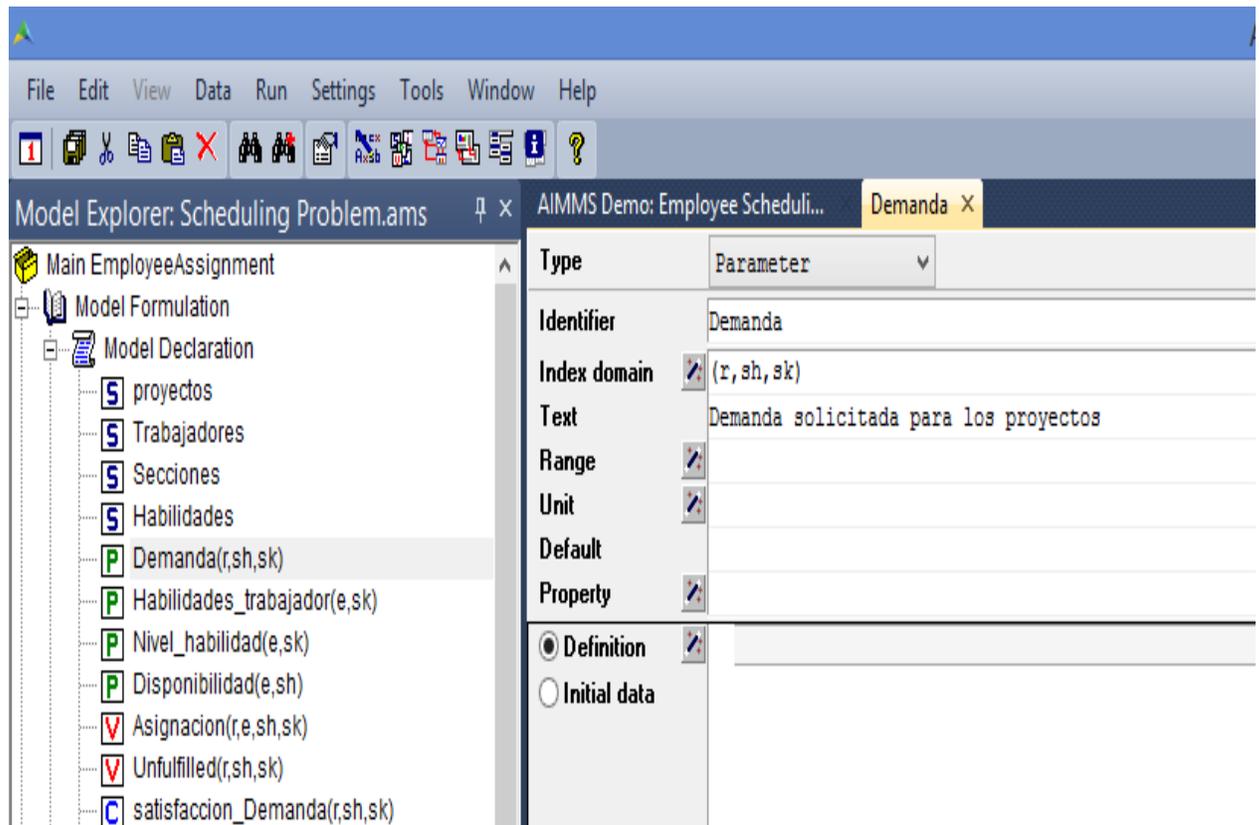


Fig 9. Demanda solicitada para cada proyecto.

Para la figura 10, se han capturado 5 proyectos de muestra, donde cada proyecto tiene diferentes requerimientos relacionados con:

- Personas
- Actividades
- Recursos
- Costos

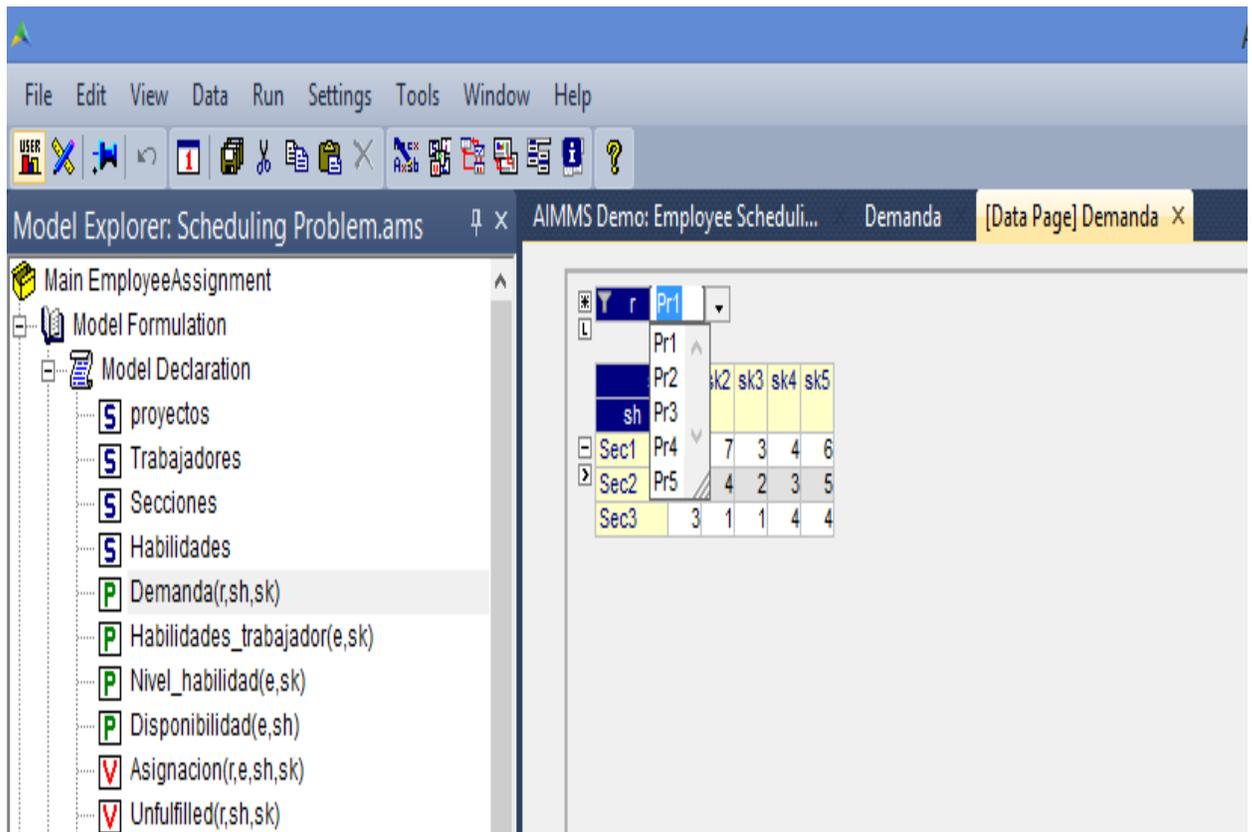


Fig 10. Numero de Trabajadores solicitados de acuerdo a la sección y habilidades.

En la figura 11 se muestra que para el proyecto 3, se deberán tener un número de trabajadores por cada sección, indicado el número mínimo requerido para realizar las actividades programadas.

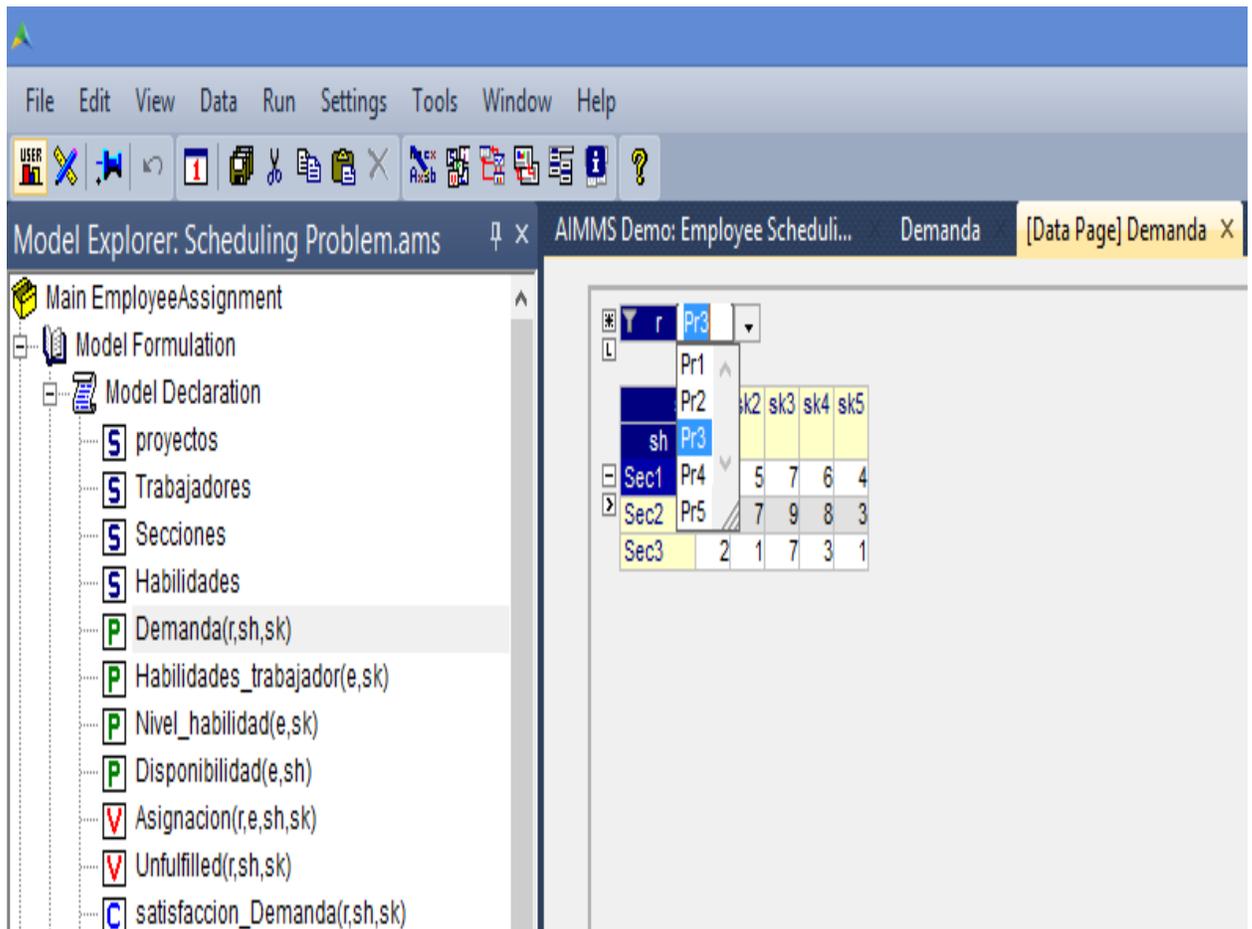


Fig 11. Numero de Trabajadores solicitados de acuerdo a la sección y habilidades.

Para el desarrollo de las actividades, los trabajadores deberán contar con ciertas habilidades (skills), donde éstas se deberán relacionar a través de los índices, donde el índice e representa al trabajador y el índice sk representa las habilidades del trabajador (figura 12).

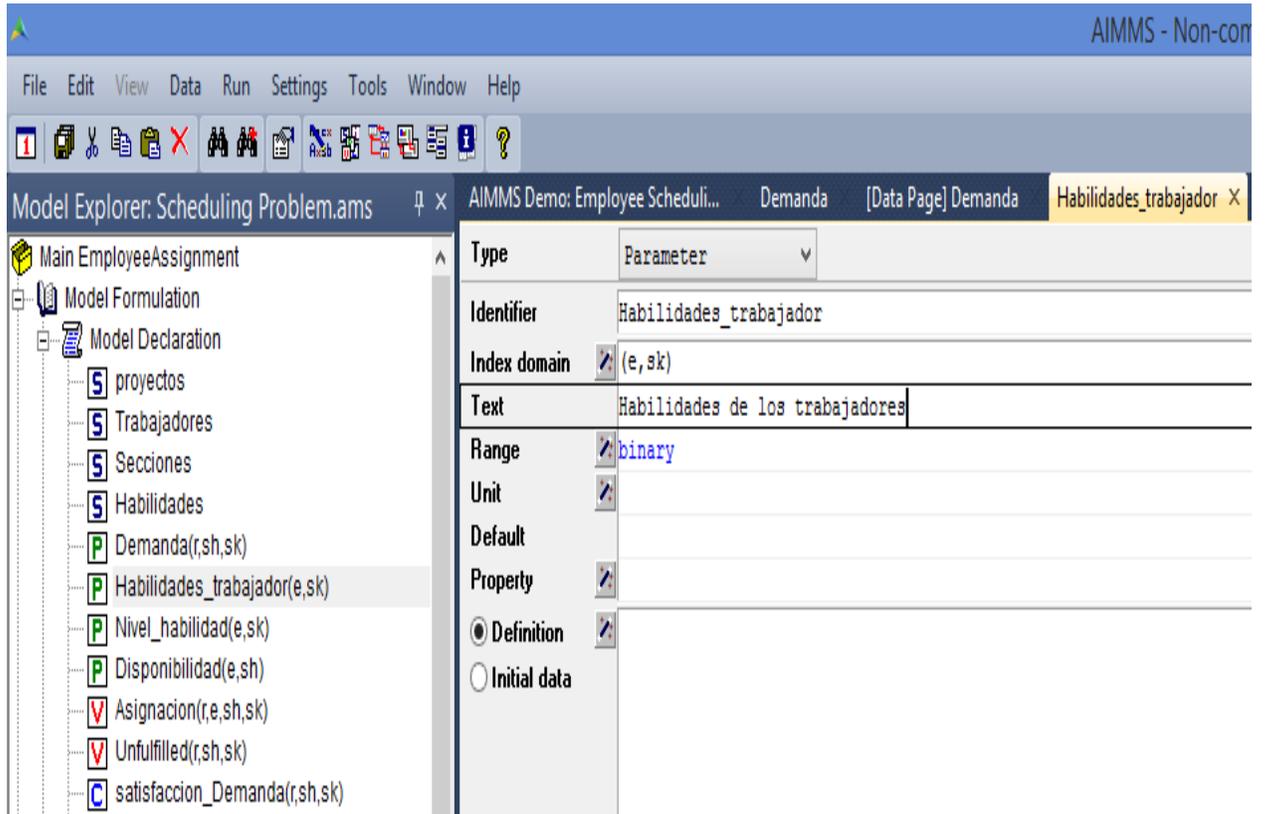


Fig 12. Declaracion de conjunto de datos de las habilidades de cada trabajador.

De manera predeterminada, es necesario establecer las habilidades que serán utilizadas en los proyectos y que estarán representadas por el índice sk. En la figura 13, se muestra la asignación de habilidades por trabajadores, donde, por ejemplo, el trabajador 1 tiene la habilidad 1 y la habilidad 4.

The screenshot shows the AIMMS interface. On the left, the 'Model Explorer' displays a tree structure for 'Main EmployeeAssignment'. The 'Habilidades' (Skills) folder is expanded, showing a list of skills: 'Demanda(r,sh,sk)', 'Habilidades_trabajador(e,sk)', 'Nivel_habilidad(e,sk)', 'Disponibilidad(e,sh)', 'Asignacion(r,e,sh,sk)', 'Unfulfilled(r,sh,sk)', and 'satisfaccion_Demanda(r,sh,sk)'. On the right, a table displays the skill assignment for various workers. The table has columns for 'sk', 'sk1', 'sk2', 'sk3', 'sk4', and 'sk5'. The rows represent workers, with checkboxes indicating which skills they possess.

	sk	sk1	sk2	sk3	sk4	sk5
e						
Sue Q	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mary B	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mary Q	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Thomas C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ellen S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clara A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zoe P	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clara Q	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ellen A	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Robert R	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zoe T	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clara M	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sue I	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ellen C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fig 13. Registro de habilidades de cada trabajador.

Por otra parte, el nivel de habilidad es indispensable para poder identificar a qué nivel el trabajador domina cada habilidad, es decir, un trabajador con rendimiento 1 (apenas conoce la habilidad), no será comparable a un trabajador experto en el área. Con ello se busca identificar aquellos trabajadores con mejores habilidades para ciertas actividades.

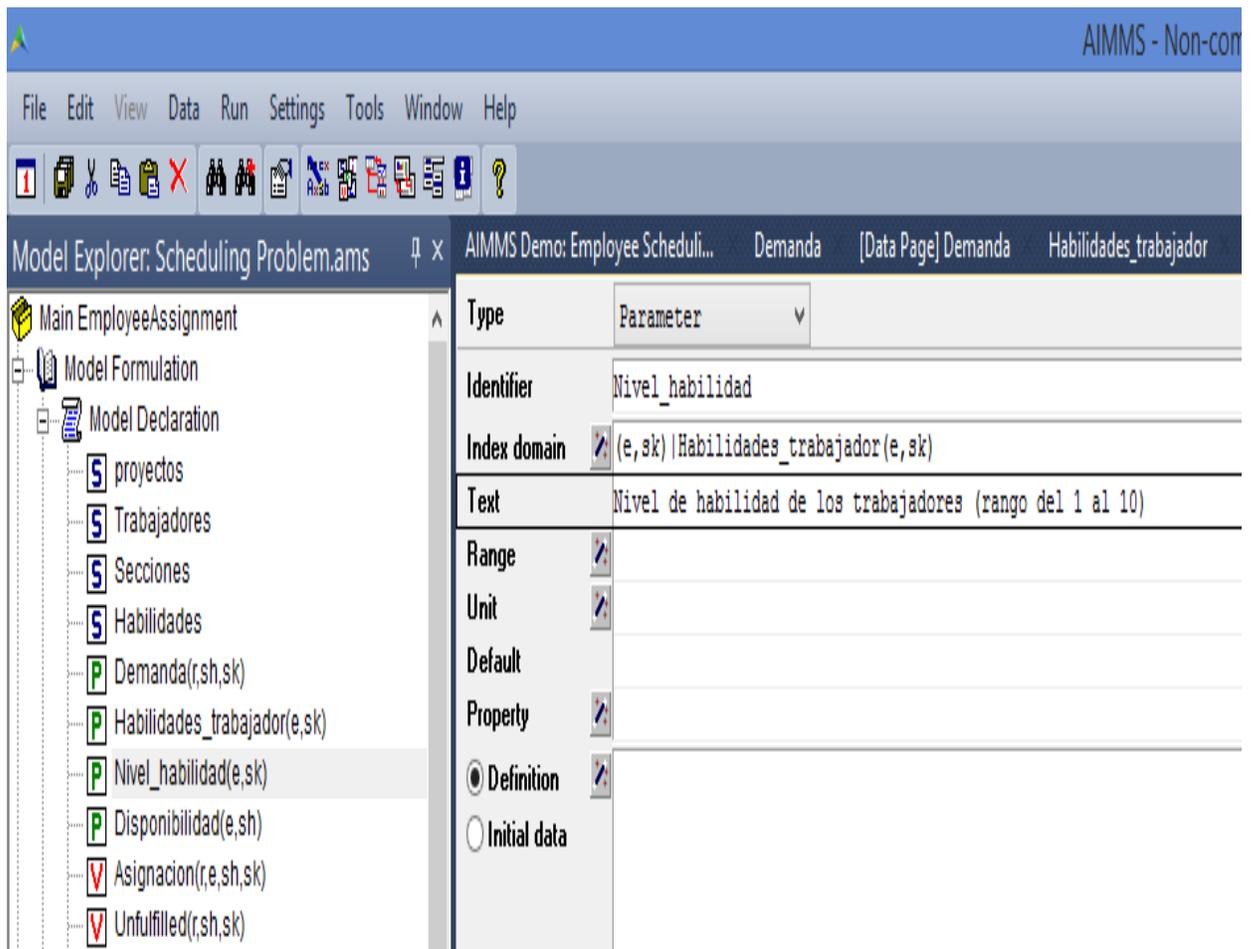


Fig 14. Declaracion de conjunto de datos del nivel de habilidades de cada trabajador.

Por cada proyecto es necesario identificar las habilidades de cada trabajador y el nivel que tienen con respecto a cada una de éstas, por tal motivo, esta fuente de información debe ser completa para poder asignar a los trabajadores de manera óptima, considerando el nivel de habilidad y con otros aspectos (figura 15).

The screenshot shows the AIMMS interface with a data table titled 'Demanda' in the 'Data Page' view. The table displays the skill levels for various workers across five skill categories (sk1 to sk5). The worker 'Sue I' is highlighted in yellow.

e	sk	sk1	sk2	sk3	sk4	sk5
Sue Q	4				3	
Mary B			1	3		
Mary Q					9	
Thomas C				8		
Ellen S			8		10	
Clara A					10	
Zoe P					9	
Clara Q			3	6		
Ellen A	1			5		
Robert R			1			
Zoe T				7		
Clara M					7	
Sue I		7				6

Fig 15. Nivel de habilidades de cada trabajador.

En la figura 16, se propone el registro de la disponibilidad que tendrá el trabajador con respecto a un proyecto, es decir, en muchas ocasiones se contrata a un trabajador por outsourcing, por lo que se le paga por proyecto, por actividad o por hora; para el presente proyecto se ha considerado el pago por disponibilidad.

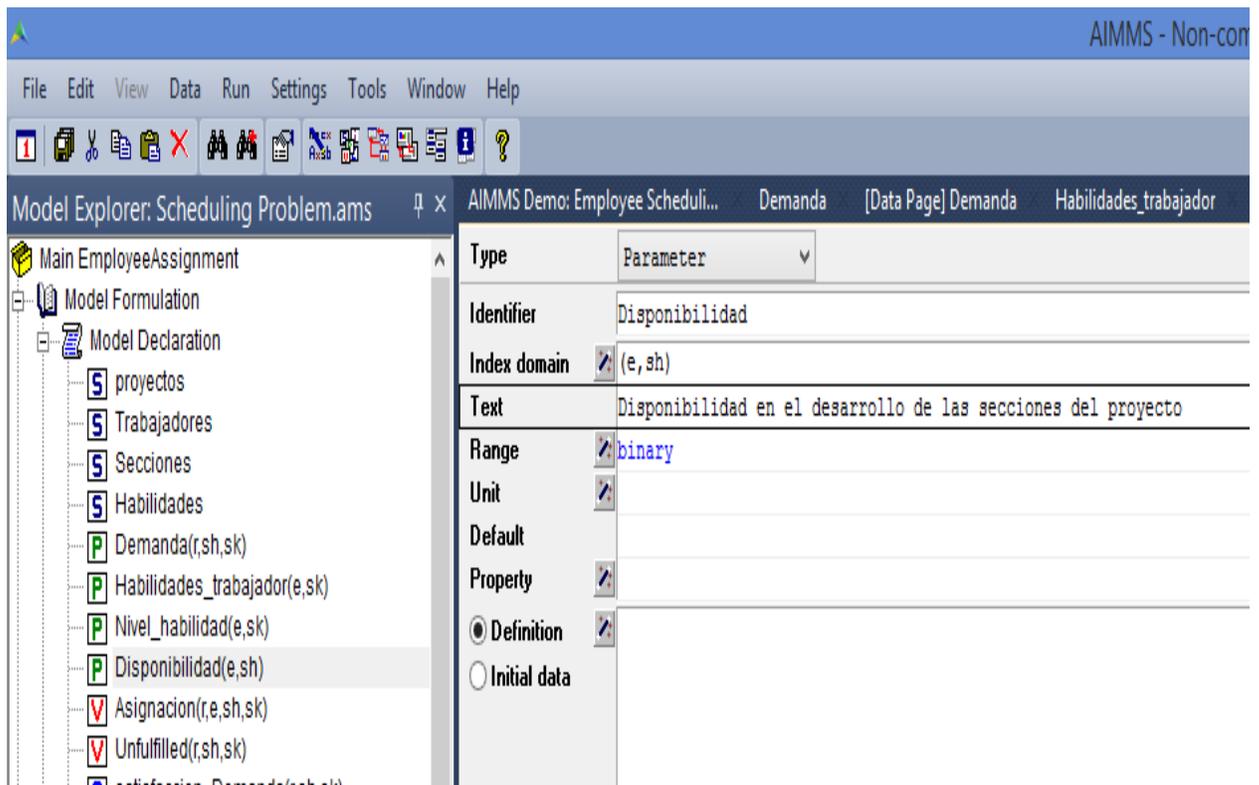
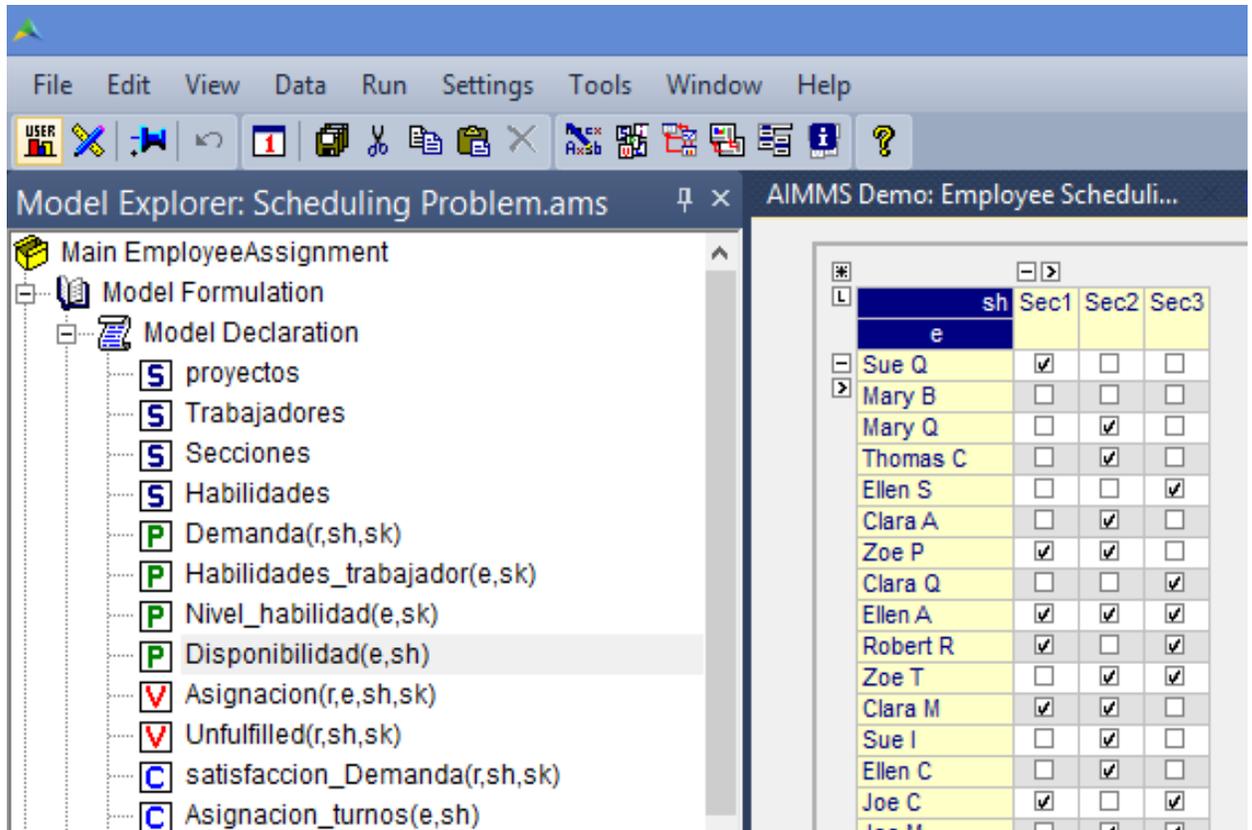


Fig 16. Declaracion de conjunto de datos de disponibilidad de cada trabajador.

En la figura 17 dividida en 2 secciones, se muestra la asignación de los trabajadores con base en su disponibilidad para realizar las actividades de las diferentes secciones.



a) Asignación de trabajadores

sh	Sec1	Sec2	Sec3
Sue Q	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mary B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mary Q	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Thomas C	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ellen S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clara A	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zoe P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clara Q	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ellen A	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Robert R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zoe T	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Clara M	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sue I	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ellen C	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Joe C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Joe M	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zoe K	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sue B	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clara H	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ellen Q	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mary C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Carlos S	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pete K	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mary K	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ellen R	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ellen K	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sue T	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pete E	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ed G	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Robert L	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pete P	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zoe J	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ann M	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sue N	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Thomas S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zoe O	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ellen J	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mary I	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Carlos J	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Joe N	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Clara G	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Thomas A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Thomas L	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Joe E	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zoe C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ed N	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ann O	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mary G	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pete H	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zoe B	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Carlos I	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Robert I	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ann I	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mary N	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Edith C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

b) Ejemplo de asignación

Fig. 17 Asignación de trabajadores

CAPÍTULO V. IMPLEMENTACIÓN DE LA APORTACIÓN Y CONCLUSIONES

5.1 Introducción

En esta sección, se muestra la experimentación usando el software CPLEX para resolver los casos del problema de planificación de proyectos de innovación tecnológica (PSP-TI). Los resultados se obtuvieron usando el software CPLEX para encontrar el costo óptimo del PSP-TI sobre un servidor IBM Proliant con 32 núcleos y 4 GB de RAM.

5.2 Antecedentes

México, como economía emergente, requiere maximizar los resultados que se obtienen al invertir en proyectos de desarrollo. Una de las entidades públicas promotoras de estas inversiones es el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Los proyectos no siempre concluyen de manera exitosa, en especial por una planeación inadecuada de sus recursos, ocasionando retrasos, esfuerzo adicional, o fracasos. La presente investigación desarrolla y prueba un modelo matemático para determinar la factibilidad económica de los proyectos de innovación del CONACYT, comprobando la hipótesis de que los proyectos son una variante de la intratabilidad matemática, y por lo tanto, se puede obtener una aproximación bastante certera de los costos reales de los proyectos usando algoritmos y la teoría de la NP-Completo.

Actualmente no existen modelos matemáticos para optimizar recursos de los proyectos, por lo que la presente investigación supone un hito en el tema buscando una solución matemática. Adicionalmente, aunque se probará sobre proyectos de innovación del CONACYT, la investigación servirá de base para cualquier problema industrial que requiera optimizar costos. Por último, servirá para focalizar el uso de los recursos económicos de una forma más real. El principal aporte social de la investigación será ampliar la cobertura de investigadores del presupuesto asignado al CONACYT y aumentar la finalización de los mismos. Se conseguirá conforme se determine de forma real el presupuesto de cada proyecto, para evitar sobrecostos y subestimaciones de los mismos.

5.3 Desarrollo

El modelo matemático que se presenta en esta sección responde a las necesidades del CONACYT para optimizar los costos de los Proyectos de Innovación Tecnológica que les son presentados por los investigadores. El modelo contempla los parámetros generales que se incluyen en cada Proyecto.

Problema tratado en la tesis. El objetivo de la tesis es desarrollar y probar un modelo matemático orientado a optimizar los costos de los proyectos de innovación tecnológica. Cada proyecto incluye: recursos materiales (infraestructura e inmuebles que serán tratados como costos fijos del proyecto), recursos humanos (dedicados al desarrollo de diversas actividades del proyecto dependiendo de sus habilidades y nivel de conocimiento), y las actividades requeridas por el proyecto.

Escenarios. Partiendo de las hipótesis acerca de la optimización de recursos y por ende la minimización de los costos de un proyecto, se presentará una alternativa por instancia para demostrar la forma en la que se debe distribuir las horas y recursos asignados a un Proyecto con el fin de observar el comportamiento que tienen, sin alterar las necesidades del propio Proyecto. Los escenarios se mostrarán en tablas y gráficas para poder hacer un análisis más preciso de los resultados y obtener interpretaciones del mismo de manera más objetiva y certera.

Elementos del modelo. Los elementos del modelo se basan en los presentados en la sección anterior, donde se consideran las diferentes variables utilizadas en el modelo de experimentación.

Consideraciones del Modelo

Las consideraciones del modelo se basan en las características de los proyectos como se presenta a continuación:

- Cada trabajador contemplado en el Proyecto tiene asignado un sueldo base fijo y una serie de habilidades con costos variables, los cuáles en su conjunto y dependiendo de la asignación que dé el modelo al Proyecto se determinará su salario final.
- Las horas de trabajo tendrán un límite.

- Cada trabajador podrá desempeñar más de una actividad si sus habilidades lo permiten.

El presente modelo se implementó en AIMMS. Para ello fue necesario seguir la recomendación de expandir el modelo y disminuir las anidaciones para una mejor comprensión y aplicación. Parte del modelo es desglosado dentro de las mismas premisas manuales para evitar mayores ciclos en el AIMMS y tener de esa manera una aproximación del resultado optimizado. El resto del modelo fue traducido a funciones de AIMMS para completar el diseño y su ejecución.

Se utilizó el modelo del problema de transporte para obtener la distribución óptima de horas laborales y su asignación a los empleados del Proyecto, y con estos resultados se aplicó en un modelo de fórmulas diseñado en Excel los resultados para obtener el costo total de la distribución hecha por AIMMS.

Las instancias fueron diseñadas a partir de datos reales cambiando los nombres de las empresas. Para los datos se emplearon fórmulas de azar en Excel tomando como rangos inferiores y superiores datos reales de los Proyectos de tal manera que no coincidieran para proteger la privacidad de los mismos. Para determinar los rangos se utilizaron como criterios el dato moda inferior y superior de: número de empleados, costo de los Proyectos, costo por hora de los servicios profesionales, sueldos base de los empleados por categoría, horas-hombre requeridas por actividad, costos fijos de cada Proyecto, número de actividades, horas-hombre ofrecidas por trabajador.

Para finalizar con esta etapa de alimentación de datos se contempló para todos los Proyectos un dato fijo de 230 días laborales con disponibilidad de 77 días máximo para cada empleado.

Variables. El resultado de estas variables depende del valor de los parámetros que se integran a la instancia y del comportamiento que se tenga al evaluar las rutas óptimas.

- **CostoTotalProyecto:** Abarca los costos fijos y variables del Proyecto y es calculado por el algoritmo mostrando el costo más bajo de acuerdo a la combinación de los elementos.
- **Proyecto:** Muestra la distribución óptima de las habilidades que cada trabajador aportará a las diferentes actividades del Proyecto.

Conjuntos. Los conjuntos representan las actividades empleadas por cada proyecto y la lista de habilidades de cada trabajador con sus máximos de horas. Es aquí donde se realizan los 3 escenarios para observar el comportamiento de optimización del Modelo.

- **Trabajadores.** Empleados del proyecto con sus habilidades.
- **ActividadesProyectos.** Actividades que se requieren a lo largo del desarrollo del Proyecto de Innovación de acuerdo a los criterios de los investigadores.

Parámetros. Los parámetros son los datos de entrada que se dan al Modelo en el AIMMS para arrancar las simulaciones de resultados. Estos parámetros, al igual que los conjuntos, son valores fijos.

- CostoProyectoConacyt. Indica los costos por habilidades de los trabajadores asignados al Proyecto.
- HrsProyecto. Son las horas que cada actividad demanda por Proyecto.
- HrsTrabajadores. Son las horas que cada trabajador pone a disposición del Proyecto y que se utilizarán para ver los escenarios posibles con el fin de determinar el costo mas bajo del Proyecto.
- CostoInfraestructura. Es un costo fijo por Proyecto, y contempla los gastos de inmobiliarios, rentas, papelería, equipos eléctricos y electrónicos y cualquier otro que el Proyecto requiera.

Restricciones. Las restricciones determinan las limitantes que tiene el Proyecto y la mayoría de ellas están implícitas en las variables y parámetros, a excepción de dos que se declaran de manera explícita.

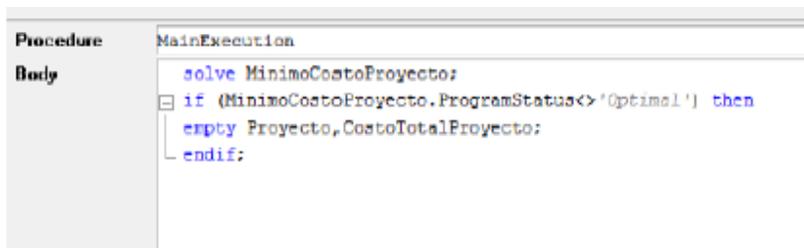
- ActividadesRequeridas. Limita las horas del Proyecto a que deben ser mayor o al menos iguales a las que se ofertan por los trabajadores.

- RestriccionHrsTrabajadores. Las horas de los trabajadores empleadas en el Proyecto deben exceder o al menos ser iguales a las demandadas por el Proyecto.

5.4 Ejemplo de un escenario

Para el Modelo se realizan unas restricciones finales de vaciado de Parámetros y la determinación de la optimización.

En la figura 18 se presenta la función principal, cuyo objetivo es minimizar el costo del proyecto; es decir, se busca que los recursos financieros y de tiempo tengan el valor mínimo pero cumpliendo con las características del proyecto.



```
Procedure MainExecution
Body
  solve MinimoCostoProyecto;
  if (MinimoCostoProyecto.ProgramStatus<>'Optimal') then
  empty Proyecto, CostoTotalProyecto;
  endif;
```

Figura 18. Función principal

Para llevar a cabo la ejecución de la función principal es necesario declarar la función matemática orientada a minimizar o maximizar. Para el caso del presente proyecto, se tiene como función objetivo minimizar (figura 19).

Type	Mathematical Progr
Identifier	MinimoCostoProyecto
Objective	CostoTotalProyecto
Direction	minimize
Constraints	AllConstraints
Variables	AllVariables
Text	
Type	Automatic
Violation penalty	
Comment	

Figura 19. Función matemática

Datos de Entrada. En esta sección se han considerado las habilidades de los trabajadores con sus máximos recursos en horas del Proyecto y el Costo de cada actividad ofertada y estimada por Trabajador. Por otra parte, también se consideran las horas máximas por actividades del Proyecto (figura 20).

	CostoProyectoConacyt			HrsTrabajadores
	A1	A2	A3	
T1H1	20.0	15.0	35.0	186
T1H2	35.0	10.0	5.0	200
T1H3	50.0	40.0	10.0	145
T2H1	38.0	10.0	15.0	130
T2H2	15.0	21.0	35.0	185
T2H3	11.0	2.0	10.0	130
T3H1	25.0	15.0	21.0	143
T3H2	13.0	15.0	12.0	152
T3H3	12.0	35.0	20.0	161
HrsProyecto	533	285	298	

Figura 20. Ejemplo de valores de entrada

La tabla 3 muestra los resultados del repositorio de instancias de proyectos de innovación tecnológica mediante la experimentación del software CPLEX. Se obtuvo una mejora del costo total solicitando un número de trabajadores.

<i>I</i>	Empresas	Costo Total Solicitado	Trabajadores solicitados	Costo Total óptimo	Trabajadores óptimos
1	Grupo Moresa	\$2,991,372.00	10	\$2,369,352.00	9
2	Sistemas del Sureste	\$3,200,201.00	8	\$2,720,222.00	8
3	Centro de Estudios Universitarios de la Península	\$1,870,980.00	5	\$1,606,379.00	5
4	Electrónica del Sur	\$2,526,032.00	8	\$2,330,047.00	8
5	Editorial ABC	\$3,983,154.00	10	\$3,584,127.00	10
6	Librería Cristobal Colón	\$2,046,574.00	5	\$1,843,707.00	5
7	Universidad Tecnológica del Norte	\$2,536,594.50	8	\$2,449,983.00	8

8	Centro Universitario de estudios de América Latina	\$3,060,750.00	9	\$2,857,567.00	9
9	Computadoras del Itsmo	\$1,627,835.00	5	\$1,399,088.00	5
10	Universidad of Rey Juan Carlos I	\$2,471,530.00	8	\$2,002,958.00	8
11	Sistemas robóticos e inteligentes	\$1,868,839.00	5	\$1,663,902.00	5
12	Dispositivos de precisión médica	\$1,457,361.00	4	\$1,276,877.00	4
13	Exploración marítima LNK	\$2,452,103.00	7	\$2,170,378.00	7
14	Grupo Industrial San Marcos	\$2,520,397.00	8	\$2,340,315.00	8
15	Centro de sistemas de cobro electrónico	\$1,452,896.00	3	\$1,354,833.00	3
16	Sistemas de Servicios Express	\$2,031,360.00	6	\$1,875,375.00	6
17	Universidad Autónoma de Calakmul	\$1,374,169.00	4	\$1,235,648.00	4
18	Ferretería "The Hammer"	\$1,825,459.00	5	\$1,683,191.00	5

19	Corrugados del Norte	\$2,237,584.00	6	\$1,912,631.00	6
20	Sistemas Inteligentes Azteca	\$893,809.00	3	\$848,947.00	3
21	Hospital regional de altas especialidades de San Luis	\$3,427,003.00	9	\$3,090,920.00	9
22	Universidad Tecnológica del Oeste	\$3,163,327.00	10	\$2,812,441.00	10
23	Centro de idiomas Omega	\$1,804,648.00	5	\$1,726,160.00	5
24	Metalurgía Durango	\$2,050,390.00	7	\$1,901,827.00	7
25	Grupo Ferretero del Centro	\$1,394,860.00	4	\$1,221,252.00	4

Tabla 6. Resultados de las instancias de prueba de proyectos de Innovación Tecnológica

Como parte de los resultados obtenidos, en la figura 21 se presenta la gráfica de las horas ofertadas por trabajador y de las horas requeridas por Proyecto. Por otra parte, en la figura 22 se presenta la gráfica relacionada con las horas de los proyectos por actividad.

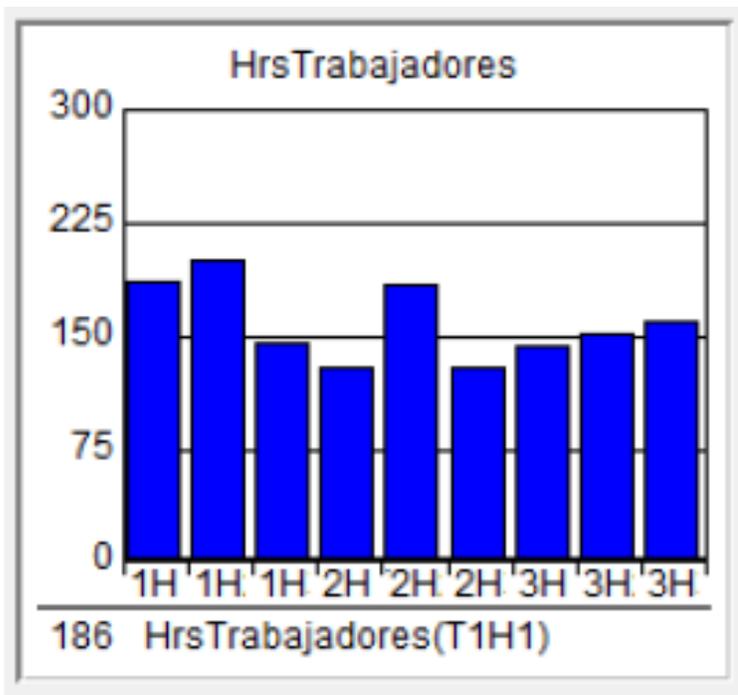


Figura 21.- Horas laboradas por los trabajadores

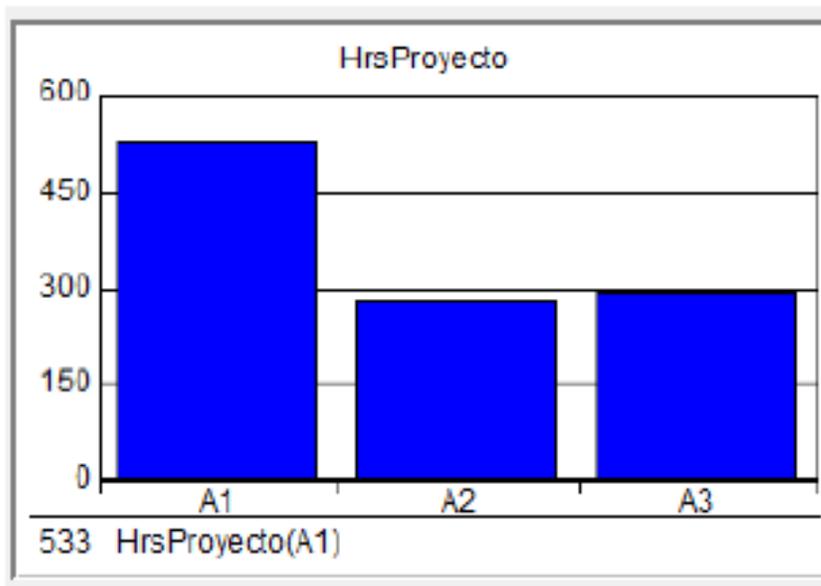


Figura 22. Horas de proyectos por actividad

5.5 Datos de salida

Distribución óptima de horas que cada trabajador otorgaría a cada actividad del Proyecto para optimizar los costos. Cada Proyecto presenta una serie de trabajadores requeridos de acuerdo a sus necesidades y las horas que deben contratarse por cada actividad que desempeñen. La combinación es la óptima en busca del menor costo.

	Proyecto		
	A1	A2	A3
T1H1	35	25	
T1H2			200
T1H3			98
T2H1		130	
T2H2	185		
T2H3		130	
T3H1			
T3H2	152		
T3H3	161		

Figura 23.- Optimización de las horas requeridas por trabajador en cada actividad

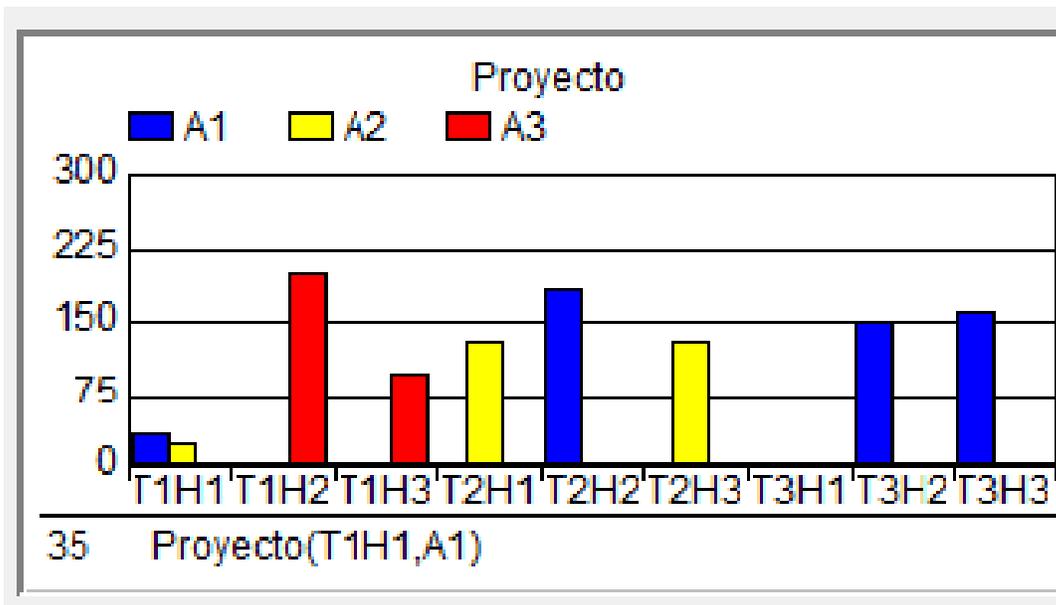


Figura 24.- Resultado optimizado de un proyecto

Por último se realiza el cálculo del costo total del proyecto con los datos obtenidos para el resultado final.

Presentación de resultados. La presentación del resultado se divide en dos secciones: “Datos de Entrada” y “Datos de Salida”. La primera contiene los datos con los que se alimenta la instancia a probar en sistemas aleatorios inspirados en datos reales. La segunda sección presenta los resultados de la distribución de horas y empleados por cada Proyecto, el costo total de acuerdo a la optimización y una gráfica de distribución de las cargas.

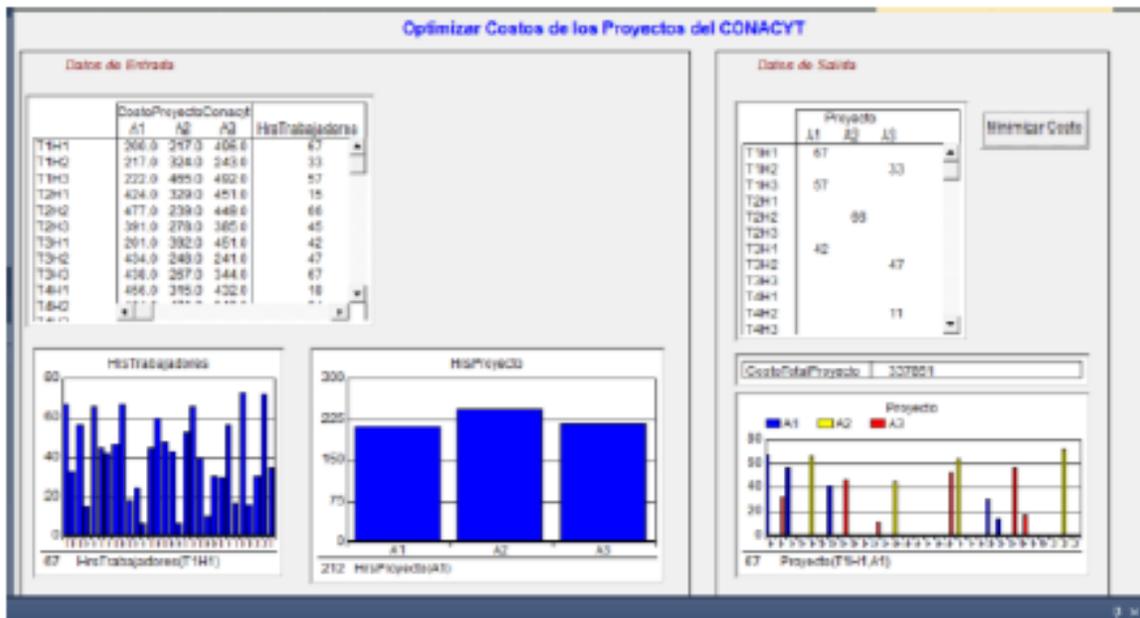


Figura 25.- Presentación de los resultados.

Cómputo de resultados. El AIMMS nos proporciona una tabla de resultados del cómputo que realiza por cada instancia. En esos resultados podemos ver el consumo de recursos y tiempo empleado.

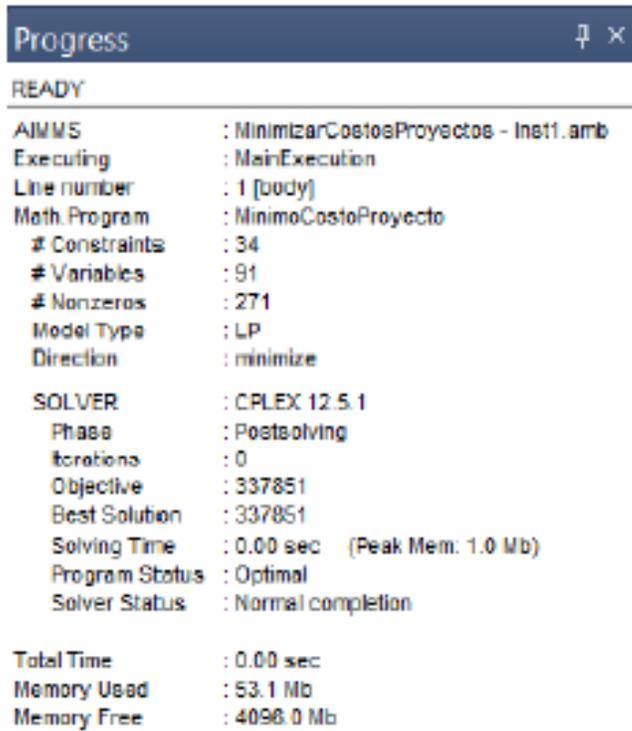


Figura 26.-Computación de los resultados.

Ejemplo de una instancia probada

En la tabla de entrada de datos de una instancia (tabla 7) se obtiene mediante fórmulas de Excel basadas en datos reales. Posteriormente sus resultados alimentan el modelo simplificado en AIMMS para optimizar costos

Datos de Entrada del Proyecto Presentado por: Sistemas de Facturación Electrónica del Centro, S. A. de C.V.									
Costos fijos	\$170,219.00								
Act. Requeridas	3								
A1	A2	A3	A4	A5					
131	100	130	100	120					
Número de Trabajadores	2				Δtg	2			
Costo Total	\$1,432,894.00				Δtg	\$228,429.00			
Días laborales	130		77						
Trabajadores	UV1	UV2	A1	A2	A3	A4	A5	Total	
T15B			12	\$ 30,440.00					\$ 30,440.00
T1A1	96		11	\$ 481.00	\$ 153.00	\$ 84.00	\$ 218.00	\$ 3.00	\$ 9,087.00
T1A2	43		9	\$ 224.00	\$ 115.00	\$ 89.00	\$ 278.00	\$ 225.00	\$ 18,266.00
T1A3	15		3	\$ 27.00	\$ 165.00	\$ 175.00	\$ 150.00	\$ 246.00	\$ 1,072.00
T1A4	80		7	\$ 250.00	\$ 189.00	\$ 59.00	\$ 482.00	\$ 190.00	\$ 9,981.00
T1A5	65		13	\$ 177.00	\$ 465.00	\$ 466.00	\$ 413.00	\$ 355.00	\$ 24,128.00
									\$ 432,894.00
T25B			12	\$ 52,300.00					\$ 52,300.00
T2A1	40		8	\$ 428.00	\$ 146.00	\$ 121.00	\$ 478.00	\$ 128.00	\$ 11,944.00
T2A2	55		11	\$ 267.00	\$ 170.00	\$ 816.00	\$ 138.00	\$ 783.00	\$ 15,101.00
T2A3	33		7	\$ 412.00	\$ 95.00	\$ 359.00	\$ 121.00	\$ 344.00	\$ 5,772.00
T2A4	35		7	\$ 185.00	\$ 67.00	\$ 476.00	\$ 687.00	\$ 155.00	\$ 8,678.00
T2A5	50		19	\$ 47.00	\$ 110.00	\$ 96.00	\$ 482.00	\$ 355.00	\$ 18,946.00
									\$ 448,095.00
T35B			12	\$ 80,737.00					\$ 80,737.00
T3A1	63		15	\$ 388.00	\$ 412.00	\$ 393.00	\$ 157.00	\$ 281.00	\$ 18,174.00
T3A2	15		3	\$ 220.00	\$ 185.00	\$ 418.00	\$ 65.00	\$ 420.00	\$ 1,964.00
T3A3	5		1	\$ 154.00	\$ 115.00	\$ 290.00	\$ 65.00	\$ 277.00	\$ 861.00
T3A4	10		2	\$ 320.00	\$ 178.00	\$ 277.00	\$ 134.00	\$ 171.00	\$ 2,138.00
T3A5	60		12	\$ 48.00	\$ 344.00	\$ 494.00	\$ 390.00	\$ 213.00	\$ 18,884.00
									\$ 458,747.00

Tabla 7.- Ejemplo de datos de entrada

Estadísticas de comparación. Al final de la experimentación se incluyen las estadísticas de comparación entre lo propuesto por los investigadores y lo propuesto por el algoritmo (Tabla 8).

Estadísticas finales de la Propuesta de Investigadores	
Total de proyectos evaluados	25
Monto total de financiamiento	\$ 56,269,227.50
Promedio de financiamiento por proyecto	\$ 2,250,769.10
Número de trabajadores solicitados	162
Promedio de trabajadores por proyecto	6

Tabla 8.- Estadística de resultados propuestos.

CONCLUSIONES

Un Proyecto de Innovación Tecnológica del CONACYT contempla una serie de variables que requieren cálculos anidados para poder obtener un resultado óptimo. Los niveles de anidación le suman una mayor complejidad a los cálculos que hacen necesario el uso de cómputo para poder realizarlo. Cada cálculo se basa en multiplicaciones de acuerdo a la profundidad de los niveles que se evaluarán en su conjunto para ir obteniendo el mejor resultado.

Para probar la optimización de los recursos económicos que son asignados al CONACYT para proyectos de innovación se emplearon como base los modelos matemáticos, principalmente el de ruta crítica de transporte para aterrizar el modelo.

El modelo matemático desarrollado ayudará a determinar los costos reales de los proyectos. Se presentan 25 instancias con datos ficticios pero inspirados en datos reales para preservar su privacidad. Los datos de cada instancia fueron ingresados en el modelo en AIMMS y se obtuvo su mejor resultado de acuerdo a una optimización en la combinación de las variables.

La implementación del Modelo y en particular los resultados obtenidos permiten observar de manera clara que se logran eliminar los sobrecostos en la muestra evaluada de Proyectos, al obtener un ahorro total de casi 6 millones de pesos que podrían ser empleados en financiar otros Proyectos.

Partiendo de la muestra se optimiza el 11% de los costos, podríamos tomar como premisa ese valor y trasladarlo a un monto total de \$ 1,500,000,000 que representarían una optimización de \$

165,000,000 para financiar 82 Proyectos adicionales y generar 528 nuevos empleos de investigadores.

En la Tabla General de Resultados se observan las instancias en cada línea con el Costo Total propuesto por los Investigadores y por el Algoritmo, y al final una columna con la optimización obtenida en cantidad y porcentaje de cada instancia, y en todos los resultados dieron a favor. Se observa una reducción promedio del 11% en todos los costos, con variaciones particulares que van desde el 3% hasta el 21% recuperado.

La optimización de costos de los Proyectos permitirá una reducción total de casi 6 millones de pesos tan solo en esta porción evaluada, permitiendo un financiamiento de 3 Proyectos adicionales que representarían 18 empleos nuevos. Con esto se reduce la cantidad de \$5'991,100.50 de sobrecostos en los Proyectos.

El conocimiento es la capacidad de actuar, procesar e interpretar información para generar más conocimiento o dar solución a un determinado problema, y puede ser interpretado y entendido por seres humanos e incluso por máquinas. Este conocimiento se produce principalmente por la investigación, y para ello se requiere financiamiento.

México cuenta con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para apoyar financieramente Proyectos de Innovación Tecnológica que tengan un impacto positivo en la sociedad. Sin embargo, como vimos al inicio de la tesis, muchos Proyectos terminan sin éxito, o muchos otros no logran ser financiados por falta de recursos del mismo CONACYT, y es

precisamente aquí donde se aprecia con mayor claridad la necesidad de optimizar los costos de los Proyectos para abarcar un mayor número de financiamiento.

En el desarrollo del Modelo se observa cómo se logra alcanzar tal optimización de una manera significativa con el fin primordial de contribuir al avance de la generación de conocimiento otorgando recursos económicos a un mayor número de propuestas de investigadores y emprendedores. En definitiva, se requiere dinero para generar conocimiento, y qué mejor que buscar la manera de optimizar los recursos que se tienen para poder cubrir un mayor número de Proyectos innovadores que impacten a nuestra sociedad. La misma optimización no solo representa un mayor número de Proyectos financiados, igualmente representa más empleos para investigadores.

El modelo matemático y las premisas teóricas de la tesis no solo se limitan al problema tratado de optimizar costos en Proyectos de Innovación Tecnológica, igualmente puede ser empleado como base y desarrollo para optimizar costos de propuestas, proyectos, estimaciones y cualquier otro recurso económico donde el objetivo sea optimizar (y primordialmente minimizar) costos, ya que es por demás sabido que cualquier reducción de costos se traduce en un mejor rendimiento empresarial.

REFERENCIAS

- 1 Kimms, A. (2001). *Mathematical Programming and Financial Objectives for Scheduling Projects*. Boston, Kluwer. Doi: 10.1007/978-1-4615-1453-4.
- 2 La medición de la innovación: una nueva perspectiva. Foro Consultivo Científico y Tecnológico y a la Dirección de Ciencia, Tecnología e Industria de la OCDE, 2012.
- 3 Schumpeter, J.A. (1934). *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest and the Business Cycle*, *Journal of Comparative Research in Anthropology and Sociology*, Vol. 3, No. 2, 137-148.
- 4 Kelley, J.E., Walker, M.R., 1959. *Critical path planning and scheduling*. In: *Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference*, American Institute of Electrical Engineers, Boston, MA, pp. 160-173.
- 5 Pritsker, A.A.B., Watters, L.J., Wolfe, P.M. (1969). *Multiproject scheduling with limited resources: a zero-one programming approach*, *Manage. Sci.*, Vol. 16, No.1, pp. 93-107.
- 6 Blazewicz, J., Lenstra, J., Rinnooy Kan, A. (1983). *Scheduling subject to resource constraints: classification and complexity*, *Discrete Appl. Math.*, Vol. 5, 11-24. Doi: 10.1016/0166-218X(83) 90012-4.
- 7 Talbot, F.B. (1982). *Resource-Constrained Project Scheduling with time-resource tradeoffs: the nonpreemptive case*. *Management Science*, Vol. 28, No. 19, 1199-1210. Doi: 10.1287/mnsc.28.10.1197.
- 8 Kolisch, R., Sprecher, A. (1997). *PSPLIB a project scheduling problem library*.

- European Journal of Operational Research, Vol. 96, No. 1, 205-216. Doi: 10.1016/S0377-2217(96)00170-1.
- 9 Souder, W.E., Moenaert, R.K. (1992). Integrating Marketing And R&D Project Personnel Within Innovation Projects: An Information Uncertainty Model. Journal of Management Studies. Vol. 29, No. 4, 485-512. Doi: 10.1111/j.1467-6486.1992.tb00675.x.
- 10 De Maio, A., Verganti, R., Corso, M. (1994). A multi-project management framework for new product development. European Journal of Operational Research, Vol. 78, No. 2, 178-191. Doi: 10.1016/0377-2217(94)90381-6.
- 11 Venkatraman, R., Venkatraman, S. (1995) R&D project selection and scheduling for organizations facing product obsolescence. R&D Management. Vol. 25, No. 1, 57-70. Doi: 10.1111/j.1467-9310.1995.tb00900.x.
- 12 Schmidt, C.W. and Grossmann, I.E. (1996). Optimization Models for the Scheduling of Testing Tasks in New Product Development. Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 35, No. 10, 3498-3510. Doi: 10.1021/ie9601099.
- 13 Adeli, H. and Karim, A. (1997). Scheduling/Cost Optimization and Neural Dynamics Model for Construction, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 123, No. 4, 450-458. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1997)123:4(450).
- 14 Hendriks, M.H.A., Voeten, B., Kroep, L. (1999). Human resource allocation in a multi-project R&D environment: Resource capacity allocation and project portfolio planning in practice. International Journal of Project Management, Vol.

- 17, No. 3, 181-188. Doi: 10.1016/S0263-7863(98)00026-X.
- 15 Bassett, M. (2000). Assigning projects to optimize the utilization of employees' time and expertise. *Comput Chem Eng*, Vol. 24, No. 2-7, 1013-1021. Doi: 10.1016/S0098-1354(00)00534-2.
- 16 Certa, A., Enea, M., Galante, G., La Fata, C.M. (2006). Multi-skilled human resource allocation in R&D projects. 8th International Conference on The Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises - MITIP2006, 11-12 September, Budapest.
- 17 Sun, H., Ma, T. (2005). A packing-multiple-boxes model for R&D project selection and scheduling. *Technovation*, Vol. 25, No. 11, 1355-1361. Doi: 10.1016/j.technovation.2004.07.010.
- 18 Yoshimura, M., Fujimi, Y., Izui, K. and Nishiwaki, S. (2006). Decision-making support system for human resource allocation in product development projects. *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 5, 831-848. Doi: 10.1080/00207540500272519.
- 19 Huang, W., Ding, L., Wen, B., Cao, B. (2009). Project Scheduling Problem for Software Development with Random Fuzzy Activity Duration Times, *Lecture Notes in Computer Science* Vol. 5552, 60-69. Doi: 10.1007/978-3-642-01510-6_8.
- 20 Gonsalves, T., Yamagishi, K., Itoh, K. (2010). Multi-objective optimization in service systems. *JDIM* Vol. 8, No. 4, 254-259.
- 21 Bartels, J.-H., Zimmermann, J. (2009). Scheduling tests in automotive R&D projects. *European Journal of Operational Research*, Vol. 193, No. 3, 805-819.

- Doi: 10.1016/j.ejor.2007.11.010.
- 22 Heimerl, C., Kolisch, R. (2010). Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce, *OR Spectrum*, Vol. 32, No. 2, 343-368. Doi: 10.1007/s00291-009-0169-4.
- 23 Ruiz-Vanoye, J.A., Díaz-Parra, O., Zavala-Díaz, J.C., Fuentes-Penna, A., Olivares-Rojas, J.C.(2010). A survey of Project Scheduling Problems (PSP). *Proceedings of the 15th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice*, pp. 460-472, Mexico City, Mexico October 17-20.
- 24 Colvin, M., Maravelias, C.T. (2011). R&D pipeline management: Task interdependencies and risk management, *European Journal of Operational Research*, Vol. 215, No. 3, 616-628. Doi: 10.1016/j.ejor.2011.06.023.
- 25 Pang, C.K., Ng, T.S., Lewis, F.L., Lee, T.H. (2011). Managing Complex Mechatronics R&D: A Systems Design Approach. *IEEE Transactions On Systems Man And Cybernetics Part A-Systems And Humans*, Vol. 42, No. 1, 57-67. Doi: 10.1109/TSMCA.2011.2157137.
- 26 Ranjbar, M., Davar, M. (2013). An exact method for scheduling of the alternative technologies in R&D projects. *Computers & Operations Research*, Vol. 40, No. 1, 395-405. Doi: 10.1016/j.cor.2012.07.005.
- 27 Yang, S., Fu, L. (2014). Critical chain and evidence reasoning applied to multi-project resource schedule in automobile R&D process. *International Journal of Project Management*, Vol. 32, No. 1, 166-177. Doi: 10.1016/j.ijproman.2013.01.010.

- 28 Ruiz-Vanoye, J.A., Pérez-Ortega, J., Pazos R., R.A., Díaz-Parra, O., Frausto-Solís, J., Fraire-Huacuja, H.J., Cruz-Reyes, L., Martínez-Flores, J.A. (2011). Survey of Polynomial Transformations between NP-Complete problems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. Vol. 235, No. 16, 4851-4865. Doi: 10.1016/j.cam.2011.02.018.
- 29 Garey, M.R., Johnson, D.S. (1979). *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. W.H. Freeman and Company, New York.
- 30 Nievegelt, J., Brandle, M., Dreier, M. (2005). *GrapBench Version 2.1*. Swiss Federal Institute of Technology Zurich, November.
- 31 Schmidt, C.W., Grossmann, I.E. (1996). Optimization Models for the Scheduling of Testing Tasks in New Product Development. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 35, No. 10, 3498-3510. Doi: 10.1021/ie9601099.
- 32 Asher, D.I. (1962). A linear programming model for the allocation of R&D efforts, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 9, 154-157.
- 33 Baker, N.R., Pound, W.H. (1964). R&D project selection: where we stand, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 11, 124-143. Doi: 10.1109/TEM.1964.6446420.
- 34 Ullman, J.D. (1975). NP-Complete Scheduling Problems, *Journal of Computers and Systems Science*, Vol. 10, 384-393. Doi: 10.1016/S0022-0000(75)80008-0.
- 35 Pascoe, T.L. (1966). Allocation of Resources C.P.M., *Revue Francaise Recherche Operationelle*, Vol. 38, 31-38.
- 36 Liberatore, M.J., Titus, G.J. (1983). The Practice of Management Science in R&D Project Management, *Management Science*, Vol. 29, No. 8, 962-974. Doi:

10.1287/mnsc.29.8.962.

ANEXO 1. ARTICULO INDIZADO DYNA.

PROBLEMA DE LA PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Jorge A. Ruiz-Vanoye, Ocotlán Díaz-Parra, Alejandro Fuentes-Penna, Mario A. Zurita-Barrón, Beatriz Bernabe-Loranca,
Edith Olaco-García

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo - Escuela Superior de Tlahuelilpan. Ex hacienda de San Servando s/n,
Tlahuelilpan, Hgo., C.P. 42780 (Méjico). Tlfno. +52-7717172000, ext. 5509. jorge@ruizvanoye.com

Recibido: 20/may/2015 - Aceptado: 2/oct/2015 - DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/MN7663>

PROJECT SCHEDULING PROBLEM OF TECHNOLOGICAL INNOVATION (PSP-TI)

ABSTRACT:

This article aims to present a new problem of planning of technological innovation projects, which is a variant of the problem of project planning. Technological innovation projects are intended to meet the requirements and expectations of time, cost and quality of the processes which combine the opportunity to the market with a need or a technological invention production, marketing and operation of a new process, product, business, business

RESUMEN:

El presente artículo tiene como objetivo presentar un nuevo problema de la planificación de proyectos de Innovación Tecnológica, el cual es una variante del problema de planificación de proyectos. Los proyectos de innovación tecnológica tienen como objetivo cumplir con los requisitos y expectativas de tiempo, costo y calidad de los procesos que conjugan la oportunidad del mercado con una necesidad o una invención tecnológica orientados a la producción, comercialización y operación de un nuevo proceso,

model, model of logistics or service-oriented customer.

In this article, original and unique in the world to date, is the computational solution inspired by the problem of the scheduling of the projects of technological innovation in order to make optimal use of the resources of time, money and human resources on companies that develop technological innovation projects and participate in the management of financial support from international sources of funding.

We developed a new mathematical model for the scheduling of the projects of technological innovation project, and the characterization of generating random and real bodies on projects sent to the Mexican National Council of Science and Technology. Using the software called CPLEX to find the optimal cost of project scheduling of technological innovation projects. Generating computationally a calculation of savings of \$5,991,100.50. The results of the use of the CPLEX method and the algorithm proposed based on the mathematical model have resulted in a range of 5% to 30% of savings. He is expected in the near future to make agreements for use of the computational solution in future announcements of financial support that made the Council of science and technology. With the use of the computed solution be expected a considerable saving in various projects, which will allow to finance many other projects.

producto, actividad comercial, modelo de negocio, modelo de logística o de servicio al cliente.

En este artículo, original y único en el mundo a la fecha, se presenta la la modelación matemática inspirada en el problema de la planificación de los proyectos de innovación tecnológica con la finalidad de realizar un uso óptimo de los recursos de tiempo, dinero y recursos humanos de empresas que desarrollen proyectos de Innovación Tecnológica y participen en la gestión de apoyos económicos de fuentes de financiamiento internacionales.

Se desarrolló un nuevo modelo matemático el problema de la planificación de proyectos de innovación tecnológica, la caracterización de instancias sobre proyectos enviados al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México. Se usó el modelo CPLEX para encontrar el uso óptimo de recursos del problema de la planificación de proyectos de innovación tecnológica, lo que generó un cálculo de ahorro de \$5,991,100.50 de Mexican pesos. Los resultados del uso del método CPLEX y del algoritmo propuesto con base en el modelo matemático han dado como resultado un rango del 5% al 30% de ahorro. Se espera en un futuro cercano poder realizar convenios de uso de la solución computacional en las futuras convocatorias de apoyos económicos que realice el consejo de ciencia y tecnología. Con el uso de la solución computacional se esperará un ahorro considerable en varios proyectos, lo que permitirá poder financiar muchos otros proyectos.

Palabras Clave: Problema de Planificación de Proyectos, Innovación Tecnológica.

Keywords: Project Scheduling Problem, Technological Innovation.

1.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este artículo es el de modelar el problema de planificación de proyectos de innovación tecnológica presentados a Consejos Nacionales de Ciencia y tecnología, y encontrar la solución óptima de los casos de estudio pertenecientes a instancias de pruebas de proyectos de innovación tecnológica.

Un proyecto de innovación tecnológica es un proyecto que es responsable de la creación e implementación de nuevas ideas tecnológicas que proporcionan valor al cliente o negocio. El proceso de gestión de proyectos de innovación tecnológica o de producto se basa principalmente en la estimación de la asignación de los recursos humanos y financieros con cierta incertidumbre. Los factores que determinan la planificación de un proyecto de innovación tecnológica son: alcance, recursos y tiempo; adicional a estos factores, el tamaño y la complejidad del proyecto afectan en el proceso de innovación tecnológica [1].

En la actualidad, los proyectos de innovación tecnológica enviados a los Consejos Nacional de Ciencia y Tecnología de los países son presupuestados de manera arbitraria, ya que no existe un lineamiento formal que permita contar con un rango de costos por rubro, actividad o tarea. Esto motiva a los investigadores a presentar costos elevados y tiempos estimados de entrega de la innovación. Por otra parte, la mayoría de los consejos de ciencia y tecnología no cuenta con un método, algoritmo o metodología que le permita evaluar el uso de los recursos en los proyectos presentados, aprobando proyectos que hacen uso óptimo de recursos o no aprobando aquellos proyectos que justifican los costos.

La aportación principal, original y única de este artículo es la presentación de la modelación de las características del problema de la planificación de proyectos de innovación tecnológica, la caracterización de

las instancias del problema. En la sección 2 se encuentran los trabajos relacionados, las herramientas y métodos usados, la formulación del nuevo modelo matemático y la caracterización del problema, en la sección 3 presenta la experimentación del problema por el software CPLEX y la última sección presenta las conclusiones. En el presente trabajo se tiene como objetivo optimizar los recursos de los proyectos de innovación tecnológica presentados ante las instancias de financiamiento de cada país con base en la propuesta presentada de recursos humanos, tiempo de desarrollo de las actividades, características de las actividades y costo-tiempo por actividad.

1.2 ESTADO DEL ARTE

Existen varios trabajos relacionados con un problema de la planificación de un proyecto de innovación tecnológica; mencionamos sólo algunos de los más populares:

Kelly (1963) propone una técnica para modelar proyectos llamado método de camino crítico - Critical Path Method CPM [2]. CPM es conocido como el problema de programación del proyecto [3]. Pritsker y otros (1969) proponen el problema NP-hard [4] de la asignación de horarios que consiste en programar una serie de actividades (renovables y no renovables) en un tiempo determinado con recursos limitados llamados el problema de programación de proyectos con recursos limitados [5]. Talbot (1982) presenta el problema NP-completo [6] de la selección de una combinación de tiempo y recursos de las actividades para minimizar el makespan total del proyecto denominado problema de planificación de proyecto con múltiples restricciones de recursos [7].

Sun y Ma (2005) [8] proponen un modelo de multi-mochilas y un algoritmo heurístico para la planificación de los recursos humanos de los proyectos de investigación y desarrollo [8]. Yoshimura y otros (2006) presentan un enfoque para seleccionar recursos humanos con diferentes niveles de habilidades de proyectos de investigación y desarrollo [9]. Huang (2009) propone la asignación de recursos humanos tomando en cuenta sus aptitudes, tiempo y esfuerzo en un proyecto de desarrollo de software [10,11]. Bartels y Zimmermann

(2009) [12] introducen un enfoque para resolver el proyecto con recursos limitados de varios modos de funcionamiento.

Heimerl y Kolisch (2010) [13] proponen resolver mediante el software CPLEX la gestión de RRHH en el proyecto de tecnología de información. Colvin y Maravelias (2011) proponen resolver y planificar las tareas de programación estocástica del problema de la gestión de investigación y desarrollo [14]. Pang y otros (2011) presentan un sistema que permite acelerar el proceso de investigación y desarrollo de industrias de Mecatrónica [15]. Ranjbar y Davari (2013) proponen resolver por medio de un algoritmo de Branch-and-Bound las actividades de desarrollo para maximizar el valor presente neto de los productos nuevos de proyectos de tecnología alternativa [16]. Yang y Fu (2014) proponen resolver el problema de planificación de recursos varios proyectos de investigación y desarrollo en automóviles chinos [17].

En la tabla 1 se muestran los trabajos relacionados con esta investigación única y original.

Investigación	Descripción
Kelly (1963)	Modelación de proyectos-camino crítico.
Pritsker y otros (1969)	El problema de programación de proyectos con recursos limitados.
Talbot (1982)	El problema de planificación de proyecto con múltiples restricciones de recursos.
Sun y Ma (2005)	Planificación de los recursos humanos de los proyectos de investigación y desarrollo.
Yoshimura y otros (2006)	Selección de recursos humanos de proyectos de investigación y desarrollo.
Huang (2009)	Asignación de recursos humanos en proyectos de desarrollo de software.
Bartels y Zimmermann (2009)	Proyectos con recursos limitados.
Heimerl y Kolisch (2010)	Proyectos de tecnologías de la información.

Colvin y Maravelias (2011)	El problema de la gestión de proyectos de investigación y desarrollo.
Pang y otros (2011)	El problema de los proyectos de investigación y desarrollo de industrias de Mecatrónica.
Ranjbar y Davari (2013)	Productos nuevos de proyectos de tecnología alternativa.
Yang y Fu (2014)	El problema de planificación de recursos varios proyectos de investigación y desarrollo en automóviles chinos
Este trabajo	Problema de la Planificación de Proyectos de Innovación Tecnológica.

Tabla I. Trabajos relacionados.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema contenido en este artículo consiste en la administración de los recursos, tiempo y actividades que se desarrollan en un proyecto de innovación tecnológica. El Manual de Oslo [19] señala que una innovación es la introducción de un nuevo y significativamente mejorado producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores. La innovación debe ser nueva, única y diferente, resolver una necesidad y crear valor para la empresa, estar alineada con la estrategia y crear ventaja competitiva.

CONACYT (2015) [18] menciona que el proceso de la innovación (actividades innovadoras que corresponden con todas las operaciones científicas, tecnológicas, organizativas, financieras y comerciales que conducen efectivamente, o tienen por objeto conducir a la introducción de innovaciones) permite la creación de nuevos productos, procesos o servicios de alto valor agregado, la vinculación de las empresas en la cadena

del conocimiento educación, ciencia, tecnología e innovación y su articulación con la cadena productiva, además permite la generación de propiedad intelectual en el país, su apropiación, su protección y su comercialización.

Las actividades innovadoras [19] permitirán realizar:

- Innovaciones de Producto. La introducción de un bien o de un servicio nuevo o significativamente mejorado en cuanto a sus características o de uso,
- Innovaciones de Proceso. La introducción de un nuevo, o significativamente mejorado proceso de producción o de distribución, con cambios significativos en las técnicas, los materiales y/o programas informáticos,
- Innovaciones organizativas. La introducción de un nuevo método organizativo en las prácticas, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores de la empresa,
- Innovaciones de mercadotecnia. La aplicación de un nuevo método de comercialización que implique cambios significativos del diseño o el envasado de un producto, su posicionamiento, su promoción o su tarificación.

Las actividades de innovación pueden ser obstaculizados por factores económicos (elevados costos o insuficiente demanda), factores vinculados a la empresa (falta de personal cualificado o) y factores jurídicos (normativas o fiscales).

Cada Proyecto de innovación tiene un número finito de horas a cubrir como demanda, y cada empleado ofrece una determinada cantidad de horas por habilidad al proyecto. Las habilidades tienen costos distintos dependiendo del empleado y lo que se busca es tener el número óptimo de horas que cada empleado ofrecerá al Proyecto al final de la simulación para cubrir la demanda al menor costo posible y sin tiempos muertos en su horario laboral.

Para los proyectos de innovación se les debe asignar responsables de desarrollar las actividades de innovación [20]. Por ejemplo: Director o responsable del proyecto (tiene la responsabilidad de la ejecución del proyecto

de innovación), administrador (mantiene la documentación y todos los registros actualizados del proyecto), Equipo multidisciplinar (las personas de diferentes áreas, habilidades y conocimientos que colaboran; diseñadores, mecánicos, eléctricos, programadores, investigadores, técnicos, entre otros), clientes (personas o áreas funcionales que utilizarán los resultados del proyecto de innovación), otros implicados (personas que se verán afectadas por la ejecución del proyecto de innovación).

1.4 HERRAMIENTAS Y METODOS

Un problema de la planificación de proyectos de innovación tecnológica (PSP-TI) es una variante del problema de planificación de proyectos (PSP) [3]. Los problemas de planificación de proyectos podría utilizarse para modelar muchos problemas reales de planificación de proyectos de desarrollo de software, gestión de fabricación, innovación y gestión tecnológica, industria de la construcción, gestión de proyectos de gobierno, servicios financieros, programación de las máquinas, gestión de transporte y otros.

El problema de la planificación de los proyectos de innovación tecnológica consiste en la optimización de la asignación de recursos humanos tomando en cuenta sus habilidades, limitaciones, tiempo y procesos de la empresa manteniendo la duración presupuestada del proyecto, uso de recursos y costos. El problema considera que los empleados pueden realizar diversas actividades simultáneamente para aprovechar al máximo sus habilidades y sin tener tiempos muertos de personal. Los parámetros generales de PSP-TI son:

A. recursos. Los recursos son aquellos elementos que dan cuenta de las actividades de un proyecto de innovación tecnológica.

B. actividades. Las actividades se definen como un conjunto de operaciones de una organización.

Proponemos un nuevo modelo matemático del problema de optimización de los recursos financieros de proyectos de innovación tecnológica o del problema de planificación de proyectos de innovación tecnológica (PSP-TI). El modelo matemático de PSP-TI está formado por las ecuaciones 1-6:

VARIABLES:

W Costo Base del trabajador o salario del trabajador

w conjunto de personas (trabajadores) en el proyecto.

q Conjuntos de habilidades de los trabajadores.

S_w Costo por habilidades de los trabajadores.

A Un conjunto de actividades del proyecto.

C_a Costo por actividad del proyecto.

D_p Duración del proyecto.

t_a Duraciones de las actividades.

M_t Periodo de tiempo de la actividad.

s Porcentaje de horas extras para cada actividad.

H Tiempo de trabajo (horas) considerado por la empresa.

$$\text{Función objetivo } Z = \min \sum_{i=1}^n C_{a_i} t_{a_i} \quad i = \{1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

$$\text{Restricciones: } C_{a_i} = \sum_{w=1}^m \sum_{q=1}^r (W_w + S_{qW_w}) t_{a_i} ; \quad i = \{1, 2, \dots, n\}, w = \{1, 2, \dots, m\}, q = \{1, 2, \dots, r\} \quad (2)$$

$$t_{a_i} = ((H / A) - M t_{a_i}); \quad i = \{1, 2, \dots, n\}, \quad A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \quad (3)$$

$$T_p = D_p + \sum_{i=1}^n M t_{a_i}; \quad i = \{1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

$$D_{p_i} = \sum_{k=1}^j t_{a_k} < H \quad (5)$$

$$M t_{a_k} = (s) * (H / A_{p_i}) / 100\% \quad (6)$$

La función objetivo (ecuación 1) es la minimización del costo del proyecto de innovación tecnológica, donde: C corresponde con el costo, a corresponde a las actividades del proyecto, t es el tiempo para las actividades involucradas en el proyecto, i es el número de actividades planeadas en el proyecto.

En la ecuación (2) se presentan las variables de decisión donde el costo por actividad del proyecto C_a representa el costo base por trabajador W_w más el costo adicional de las habilidades de cada trabajador S_{qw} por la duración de tiempo de la actividad t_{ai} . Dónde: i representa el número de la actividad del proyecto, w representa el número de trabajadores involucrados en cada actividad, q representa el conjunto de habilidades, el cual es inicialmente definida como el costo adicional de la habilidad de cada trabajador S_{qw} , C_a corresponde al costo por actividad del proyecto y $1 = \text{programador}, 2 = \text{diseñador}, 3 = \text{técnico}, \dots, r-1, r$. El costo por actividad del proyecto C_a involucre el costo base por trabajador W_w más el costo de la habilidad de cada trabajador S_{qw} , por el tiempo que toma realizar la actividad en cuestión t_{ai} .

En la ecuación (3) se presentan las restricciones, donde el tiempo de desarrollo total del proyecto está limitado por los tiempos de llamada que son generalmente 12 meses equivalentes a 365 días del año de 8 horas diarias para un total de 2920 horas tomando en cuenta sábados, domingos y días festivos. Si se toma un promedio de 20 días laborables al mes, tendría 240 días, cuando se multiplica por la jornada de 8 horas se tendrán la media de 1920 horas dedicadas al desarrollo del proyecto. Entonces sería una actividad de tiempo 1920 entre el número de actividades. Por ejemplo, suponiendo que el proyecto tiene 25 actividades de la misma complejidad, entonces $1920/25 = 76.8$ horas para cada actividad. Esta cantidad será restada del 10% de 76.8 (Mt_{ai}) y ese resultado corresponde con el tiempo neto de cada actividad. Posteriormente, dependiendo del número de proyecto de actividades la duración de cada actividad t_{ak} debe limitarse a la ecuación (3).

En la ecuación (4) el tiempo de termino estimado del Proyecto T_p está compuesto por el tiempo de duración del proyecto D_p , más un rango de tiempo por actividad M_t .

En la ecuación (5) se menciona que la duración del proyecto D_p es la suma de todos los tiempos que se lleva realizar cada actividad considerada en el Proyecto y puede ser menos tiempo que la jornada diaria de trabajo en horas H considerada por la empresa para realizar el proyecto. Para la presente propuesta se considera que cada actividad deberá concluirse antes de iniciar la siguiente actividad.

La ecuación (6) menciona que la ventana de tiempo por actividad M_t se considera un plazo de tiempo disponible en caso de no concluir la actividad en el tiempo establecido. Toma un porcentaje de tiempo del total señalado para el proyecto, es decir, si el total de horas establecido para el proyecto es $H = 1920$ y el número de actividades consideradas A_{pi} es 25, entonces el tiempo en horas por actividad es $t_{ak} = 76.8$ hrs. Teniendo en cuenta un $s = 10\%$ de tiempo adicional como margen de M_t y tenemos $10 * 76.8/100 = 7.68$ horas, restar esta cantidad de la t_{ak} y conseguimos $76.8 - 7.68 = 69.12$ higiene el tiempo dedicado a cada actividad. El porcentaje de tiempo está disponible para la empresa con respecto a las actividades del proyecto. Entonces $H/A_{pi} = 1920/25 = 76.8$ y $M_t = 10 * 76,8 / 100 = 7.68$.

El lenguaje L_1 del PSP-TI fue transformado polinomialmente en un lenguaje L_2 del Problema de planificación de Proyectos - PSP ($L_1 \leq_P L_2$) ó (PSP-TI \leq_P PSP). Entonces, con la transformación polynomial de las instancias de PSP-TI en instancias de PSP, concluimos que el problema de planificación de proyectos de innovación es NP-difícil ó NP-hard [28].

1.5 RESULTADOS

En esta sección, se muestra la experimentación usando un software que es uno de los más usados, el software CPLEX para resolver los casos del problema de planificación de proyectos de innovación tecnológica (PSP-TI). Los resultados se obtuvieron usando el software CPLEX para encontrar el costo óptimo del PSP-TI sobre un servidor IBM Proliant con 32 núcleos y 4 GB de RAM.

Presentamos los parámetros o caracterización del problema de planificación de proyectos de innovación tecnológica (PSP-TI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México. Se generaron un conjunto de instancias de 25 casos generados al azar de los proyectos solicitados para ser financiados de CONACYT dentro del programa de estímulo a la investigación, desarrollo tecnológico e innovación (I+DTI). I+DTI incluye 3 tipos de proyectos de innovación tecnológica: A) innovación tecnológica para micro, pequeñas y medianas empresas (INNOVAPYME). Modo dedicado a propuestas y proyectos cuyo solicitante es una empresa PYME. B) innovación tecnológica para las grandes empresas (INNOVATEC). Modo dedicado a propuestas y proyectos cuyo solicitante es un negocio o empresa grande. C) Red proyectos enfocados en la innovación (PROINNOVA). El modo dedicado a propuestas y proyectos presentados en relación con al menos dos universidades o centro de investigación. Utilizamos la nomenclatura de instancias: PSP-TI (nombre del problema), T (tipo de programa), # (número de casos), .psp (extensión del archivo), por ejemplo: PSP-TI-PYME-1. PSP. Pueden descargarse las instancias de experimentación desde el sitio PSPTILib. (www.ruizvanoye.com/PSPTILib.html). En la tabla II se muestra las características de las instancias de PSPTILib.

Tipo de Programa de Innovación	Trabajadores (Max)	Tareas (Max)	Habilidades (Max)
innovación tecnológica para micro, pequeñas y medianas empresas	20	30	10
innovación tecnológica para las grandes empresas	40	40	15
Red proyectos enfocados en la innovación	60	50	20

Tabla II. Repositorio de instancias PSP-TI.

En la tabla III se encuentran los parámetros para generar las instancias de PSP-TI:

- Nombre de la Instancia: El nombre de la instancia está representada por el nombre de la empresa
- Número de tareas: Es el número de tareas solicitadas en la instancia y se representa por la variable $nt=\{1,2,\dots,n\}$.

- Número de trabajadores: Es el número de trabajadores que están involucrados en el proyecto actual y se representa por la variable $nw=\{1,2,\dots,n\}$.
- Número de habilidades: Es el número de habilidades solicitadas en el presente proyecto y se representa por la variable $ns=\{1,2,\dots,n\}$.
- Fecha de lanzamiento: fecha inicial del proyecto, representado por la variable rd .
- Fecha de vencimiento: fecha final del proyecto, representado por la variable dd .
- Penalización: representa un valor numérico donde se indica el grado de penalización que se le otorga a los proyectos que no terminan en tiempo y forma.
- Nivel de Habilidad: representa el nivel de habilidad que tiene un trabajador con respecto a una actividad.
- Salario/HR: representa el salario que perciben los trabajadores por una hora laborada.
- Habilidades: es el conjunto de habilidades que tiene cada trabajador
- Número de trabajador: Representa el trabajador seleccionado
- Nivel de Habilidad: Representa el nivel de habilidad del trabajador seleccionado; el valor se representa por un valor entre 1 y 5.
- Tiempo/HRS: Tiempo que el trabajador destinará al proyecto actual
- Tareas: Las actividades se dividen en tareas, siendo este apartado la representación de un conjunto de tareas que integran las actividades del proyecto.
- Tiempo (tt): Tiempo estimado para cada tarea, donde $tt = \{1,2,\dots,20\}$.
- Costo: Este rubro representa el costo de la tarea, representado por la variable C_{ij} .
- Nivel de restricción de habilidades: este valor representa el nivel de restricción solicitado para el desarrollo de las tareas con base en las habilidades solicitadas.
- Sucesores: representa las tareas que continúan al finalizar la tarea actual.
- Cost subtotal: representa el costo de las tareas multiplicado por el tiempo de desarrollo.
- Costo total: representa el costo total de la instancia.

NOMBRE DE LA INSTANCIA					
NÚMERO DE TAREAS <i>(nt)</i>	NÚMERO DE TRABAJADORES <i>(nw)</i>	NÚMERO DE HABILIDADES <i>(ns)</i>	FECHA DE LANZAMIENTO <i>(rd)</i>	FECHA DE VENCIMIENTO <i>(dd)</i>	PENALIZACIÓN <i>(pc)</i>
Número	Número	Número	Número	Número	Número
Nivel de Habilidad	Salario/HR (USD)	HABILIDADES	HABILIDADES	HABILIDADES	HABILIDADES
SL_1	sa_1	Sk_1	Sk_2	Sk_3	Sk_4
...
SL_5	sa_{ns}	Sk_{ns}	Sk_{ns}	Sk_{ns}	Sk_{ns}
NÚMERO DE TRABAJADOR	NIVEL DE HABILIDAD	TIEMPO/HRS			
W_1	ALEATORIO ENTRE (1,5)	ALEATORIO ENTRE (500-1000)			
...			
W_{nw}	ALEATORIO ENTRE (1,5)	ALEATORIO ENTRE (500-1000)			
		TOTAL HRS <i>(TH)</i>			
TAREAS	TIEMPO <i>(tt)</i>	Costo	NIVEL DE RESTRICCIÓN DE HABILIDADES	SUCESORES	COSTO SUBTOTAL
TN_1	ALEATORIO ENTRE (20, TH/nt)	C_1	ALEATORIO ENTRE (1,5)	ALEATORIO ENTRE (0, nt)	$tt * C_1$
...
TN_{nt}	ALEATORIO ENTRE (20, TH/nt)	C_n	ALEATORIO ENTRE (1,5)	ALEATORIO ENTRE (0, nt)	$tt * C_n$
	TOTAL HRS				COSTO TOTAL

Tabla III. Instancias PSP-TI.

La tabla IV muestra los resultados del repositorio de instancias de proyectos de innovación tecnológica mediante la experimentación del software CPLEX. Se obtuvo una mejora del costo total solicitando un número determinado de trabajadores.

<i>I</i>	Empresas	Costo Total Solicitado	Trabajadores solicitados	Costo optimizado	Trabajadores óptimos
1	Grupo Moresa	\$2,991,372.00	10	79.2%	90.0%
2	Sistemas del Sureste	\$3,200,201.00	8	85.0%	100.0%
3	Centro de Estudios Universitarios de la Península	\$1,870,980.00	5	85.9%	100.0%
4	Electrónica del Sur	\$2,526,032.00	8	92.2%	100.0%
5	Editorial ABC	\$3,983,154.00	10	90.0%	100.0%
6	Librería Cristobal Colón	\$2,046,574.00	5	90.1%	100.0%
7	Universidad Tecnológica del Norte	\$2,536,594.50	8	96.6%	100.0%
8	Centro Universitario de estudios de América Latina	\$3,060,750.00	9	93.4%	100.0%
9	Computadoras del Itsmo	\$1,627,835.00	5	85.9%	100.0%
10	Universidad of Rey Juan Carlos I	\$2,471,530.00	8	81.0%	100.0%
11	Sistemas robóticos e inteligentes	\$1,868,839.00	5	89.0%	100.0%
12	Dispositivos de precisión médica	\$1,457,361.00	4	87.6%	100.0%
13	Exploración marítima LNK	\$2,452,103.00	7	88.5%	100.0%
14	Grupo Industrial San Marcos	\$2,520,397.00	8	92.9%	100.0%
15	Centro de sistemas de cobro electrónico	\$1,452,896.00	3	93.3%	100.0%
16	Sistemas de Servicios Express	\$2,031,360.00	6	92.3%	100.0%
17	Universidad Autónoma de	\$1,374,169.00	4	89.9%	100.0%

	Calakmul				
18	Ferretería "The Hammer"	\$1,825,459.00	5	92.2%	100.0%
19	Corrugados del Norte	\$2,237,584.00	6	85.5%	100.0%
20	Sistemas Inteligentes Azteca	\$893,809.00	3	95.0%	100.0%
21	Hospital regional de altas especialidades de San Luis	\$3,427,003.00	9	90.2%	100.0%
22	Universidad Tecnológica del Oeste	\$3,163,327.00	10	88.9%	100.0%
23	Centro de idiomas Omega	\$1,804,648.00	5	95.7%	100.0%
24	Metalurgia Durango	\$2,050,390.00	7	92.8%	100.0%
25	Grupo Ferretero del Centro	\$1,394,860.00	4	87.6%	100.0%

Tabla IV. Resultados de las instancias de prueba de proyectos de Innovación Tecnológica.

En la tabla V y VI se muestran las estadísticas de las solicitudes de las empresas versus la mejora de las estadísticas de los resultados obtenidos por el software CPLEX. La mejora es un ahorro de dinero de 6 millones de pesos por los 25 proyectos evaluados lo que permitiría financiar otros proyectos de innovación mediante el fondo económico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Total de proyectos evaluados	25
Total de financiamiento	\$56,269,227.50
Medio de financiamiento por proyecto	\$2,250,769.10
Número de trabajadores solicitados	162
Trabajadores promedio por proyecto	6

Tabla V. Estadísticas de las empresas que solicitaron recursos para proyectos de Innovación.

Valor total óptimo	\$50,278,127.00
Cantidad recuperada	\$5,991,100.50
Financiamiento (optimizado) promedio de los proyectos financiados	\$2,011,125.08
Número óptimo de los trabajadores solicitados	161
Trabajadores promedio por proyecto	6
Porcentaje de optimización (total)	11%
Porcentaje de optimización (número de empleados)	1%
Proyectos que pueden ser financiados con optimización	25
Trabajadores libres resultado de la optimización que pueden ser usados en nuevos proyectos	180

Tabla VI. Estadísticas de los resultados obtenidos mediante el software CPLEX.

1.6 CONCLUSIONES

El problema de Planificación de Proyectos de Innovación Tecnológica es una propuesta original de una variante del problema de Planificación de Proyectos (Project Scheduling Problem), donde las principales contribuciones se dirigen hacia la caracterización de instancias para la aprobación de proyectos para la solicitud de recursos económicos en las convocatorias de Innovación Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) o de cualquier otro Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de otros países.

Con base en el objetivo planteado de modelar el problema de planificación de proyectos de innovación tecnológica presentados a Consejos Nacionales de Ciencia y tecnología, y encontrar la solución óptima de los casos de estudio pertenecientes a instancias de pruebas de proyectos de innovación tecnológica, se han obtenido los resultados óptimos de planificar los recursos humanos, tiempo, costos y la distribución de actividades de los proyectos de innovación tecnológica, tomando en cuenta las habilidades de los trabajadores, los métodos organizacionales y las restricciones de recursos que integran las instancias. Se obtuvo como resultado un rango del 5% al 30% de ahorro de los presupuestos iniciales presentados en los proyectos.

Este artículo proporciona un modelo que se aplica de manera única y original a una variante de la planificación de proyectos que llamamos Planificación de proyectos de innovación tecnológica, mientras que las investigaciones anteriores de otros autores mencionan variantes sobre proyectos de desarrollo de software, de proyectos de tecnologías de la información, de proyectos de investigación y desarrollo de diversas industrias. Ninguno de las investigaciones anteriores aborda la planificación de proyectos de innovación tecnológica.

1.7 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo esta soportado por apoyos de PNPC de CONACYT para un estudiante de doctorado, apoyo a nuevos PTCs de SEP PRODEP UAEH-PTC-719 and UAEH-PTC-682, y del Sistema Nacional de Investigadores - SNI del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACYT, y de CONACYT Ciencia Básica CB-2015-1-250622.

1.8 BIBLIOGRAFIA

- 1 Foro Consultivo Científico y Tecnológico y a la Dirección de Ciencia. La medición de la innovación: una nueva perspectiva. Tecnología e Industria de la OCDE, 2012.
- 2 Kelley JE, Walker MR. "Critical path planning and scheduling". Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, American Institute of Electrical Engineers, Boston, MA, 1959, 400 p.
- 3 Ruiz-Vanoye JA, Díaz-Parra O, Zavala-Díaz JC, et al.. "A survey of Project Scheduling Problems (PSP)". Proceedings of the 15th Annual International Conference on Engineering Theory, Applications and Practice, 2010, 600 p., Mexico City, Mexico October 17-20.
- 4 Blazewicz J, Lenstra J, Rinnooy Kan A. "Scheduling subject to resource constraints: classification and complexity", Discrete Appl. Math., Vol. 5, 1983, p.11-24. Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0166-218X\(83\)90012-4](http://dx.doi.org/10.1016/0166-218X(83)90012-4).
- 5 Pritsker AAB, Watters LJ, Wolfe PM. "Multiproject scheduling with limited resources: a zero-one programming approach", Manage. Sci., Vol. 16, No.1, 1969, p.93-107. Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/2628369>.
- 6 Kolisch R, Sprecher A. "PSPLIB a project scheduling problem library". European Journal of Operational Research, Vol. 96, No. 1, 1997, p.205-216. Doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00170-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00170-1).
- 7 Talbot FB. "Resource-Constrained Project Scheduling with time-resource tradeoffs: the nonpreemptive case". Management Science, Vol. 28, No. 19, 1982, p.1199-1210. Doi: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.28.10.1197>.
- 8 Sun H, Ma T. "A packing-multiple-boxes model for R&D project selection and scheduling". Technovation, Vol. 25, No. 11, 2005, p.1355-1361. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.technovation.2004.07.010>.
- 9 Yoshimura M, Fujimi Y, Izui K, et al. "Decision-making support system for human resource allocation in product development projects". International Journal of Production Research, Vol. 44, No. 5, 2006, p.831-848. Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00207540500272519>.
- 10 Huang W, Ding L, Wen B, et al. "Project Scheduling Problem for Software Development with Random Fuzzy Activity Duration Times". Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5552, 2009, p.60-69. Doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-01510-6_8.
- 11 Gonsalves T, Yamagishi K, Itoh K. "Multi-objective optimization in service systems". JDIM Vol. 8, No. 4, 2010, p. 254-259.
- 12 Bartels J-H, Zimmermann J. "Scheduling tests in automotive R&D projects". European Journal of Operational Research, Vol. 193, No. 3, 2009, p.805-819. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.010>.
- 13 Heimerl C, Kolisch R. "Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce". OR Spectrum, Vol. 32, No.

- 2, 2010, p.343-368. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00291-009-0169-4>.
- 14 Colvin M, Maravelias CT. "R&D pipeline management: Task interdependencies and risk management". *European Journal of Operational Research*, Vol. 215, No. 3, 2011, p.616-628. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2011.06.023>.
- 15 Pang, CK, Ng TS, Lewis FL, et al. "Managing Complex Mechatronics R&D: A Systems Design Approach". *IEEE Transactions On Systems Man And Cybernetics Part A-Systems And Humans*, Vol. 42, No. 1, 2011, p.57-67. Doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TSMCA.2011.2157137>.
- 16 Ranjbar M, Davar M. "An exact method for scheduling of the alternative technologies in R&D projects". *Computers & Operations Research*, Vol. 40, No. 1, 2013, p.395-405. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2012.07.005>.
- 17 Yang S, Fu L. "Critical chain and evidence reasoning applied to multi-project resource schedule in automobile R&D process". *International Journal of Project Management*, Vol. 32, No. 1, 2014, p.166-177. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.01.010>.
- 18 CONACYT. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), 2015. <http://homologacion.cloudapp.com.mx/>
- 19 Manual de Oslo. Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación (3era edición). Tragsa, 2005.
- 20 Gil Ruiz AM, Varela Azkue G, González Díez A. Guía para abordar la innovación y su gestión en las empresas del sector de la edificación residencial. Tekniker, 2008.