

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



APLICACIÓN DEL PROBLEMA DE
PARTICIONAMIENTO DE CONJUNTOS PARA LA
AGRUPACIÓN POR FAMILIAS EN EL PROCESO DE
CERTIFICACIÓN

POR

RUBÉN MIGUEL VELÁZQUEZ MENDOZA

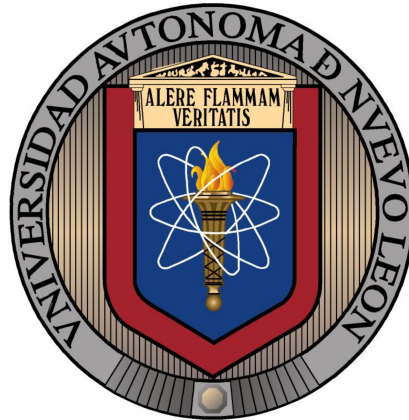
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO
CON ORIENTACIÓN EN LOGÍSTICA GLOBAL

DICIEMBRE, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



APLICACIÓN DEL PROBLEMA DE
PARTICIONAMIENTO DE CONJUNTOS PARA LA
AGRUPACIÓN POR FAMILIAS EN EL PROCESO DE
CERTIFICACIÓN

POR

RUBÉN MIGUEL VELÁZQUEZ MENDOZA

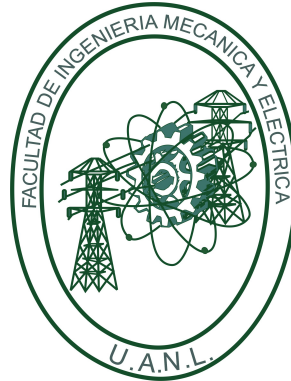
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO
CON ORIENTACIÓN EN LOGÍSTICA GLOBAL

DICIEMBRE 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



APLICACIÓN DEL PROBLEMA DE
PARTICIONAMIENTO DE CONJUNTOS PARA LA
AGRUPACIÓN POR FAMILIAS EN EL PROCESO DE
CERTIFICACIÓN

POR

RUBÉN MIGUEL VELÁZQUEZ MENDOZA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO
CON ORIENTACIÓN EN LOGÍSTICA GLOBAL

DICIEMBRE 2015

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Aplicación del problema de particionamiento de conjuntos para la agrupación por familias en el proceso de certificación», realizada por el alumno Rubén Miguel Velázquez Mendoza, con número de matrícula 1707108, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro con orientación en Logística Global.

El Comité de Tesis

Dr. Jania Astrid Saucedo Martínez

Asesor

Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa

Revisor

Dr. Miguel Mata Pérez

Revisor

Vo. Bo.

Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirección de Estudios de Posgrado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, diciembre 2015

*A mi novia, padres, hermana,
familia, amigos y perros,
son el motor de mi vida.*

“Escalón por escalón hasta llegar a la cima”.
Proverbio familiar.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	ix
Resumen	x
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Objetivo general	4
1.3. Justificación	4
1.4. Hipótesis	6
1.5. Metodología	6
1.6. Resultados e impactos esperados	8
1.7. Estructura de la tesis	9
2. Marco Teórico	10
2.1. Normatividad	11
2.1.1. Proceso de certificación	14
2.2. ¿Qué es la cadena de suministro?	17

2.3. Investigación de operaciones	21
2.3.1. El problema de cobertura de conjuntos	24
2.3.2. El problema de empaquetamiento de conjuntos	28
2.3.3. El problema de particionamiento de conjuntos	32
2.3.4. Diferencias y similitudes entre los modelos de recubrimiento PCC, PEC y PCC	35
2.3.5. Métodos de solución para PPC	37
3. Modelo matemático propuesto	39
4. Experimentación computacional	44
4.1. Equipo y programa de solución	44
4.2. Instancias reales	45
4.2.1. Caso 1	45
4.2.2. Caso 2	47
4.2.3. Caso 3	48
4.2.4. Caso 4	50
4.2.5. Caso 5	51
4.3. Casos generados	55
4.4. Análisis de los casos generados	55
5. Conclusiones	60

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Porcentaje de empresas que importan productos a México.	5
2.1. Proceso de cadena de suministro	19
2.2. Proceso de cadena de suministro internacional	20
2.3. Representación grafica PCC.	26
2.4. Representación gráfica de comunidades.	26
2.5. Representación gráfica PEC.	29
2.6. Representación gráfica PPC.	33

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Combinación de jugadores	30
2.2. Pedidos y viajes	34
2.3. Diferencias y similitudes entre PCC, PEC y PCC	36
4.1. Resultados casos 1,2 y 3	53
4.2. Resultados casos 3 y 4	54
4.3. Casos con diferentes cantidades de productos y características	56
4.4. Casos con diferentes cantidades de productos	57
4.5. Resultados casos	58
4.6. Resultados casos	59

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todas las personas que siempre me han apoyado, especialmente a mi novia Yesenia que me aguantó en este proyecto desde el principio y que gracias a ella decidí empezar. A mis padres que sin ellos no sería lo que soy ahora, porque para mí son más que un ejemplo de vida. A mi hermana que siempre está conmigo desde que tengo uso de razón. A mi familia en general porque están pendientes de lo que hacemos en la vida. A mis amigos de la maestría porque mutuamente nos ayudamos en esta etapa de la vida y con los cuales puedo compartir mis penas (porque ellos también las sufren).

A mi profesora y asesora de tesis que también fue mi capataz, sin ella no habría logrado terminar este proyecto.

También quiero agradecer a mi comité de tesis, sin la aprobación de ellos esta investigación no tendría valor alguno, a todos los profesores que se cruzaron por mi desarrollo académico, a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de UANL por abrirme las puertas. A CONACyT porque sin ellos no podría haber sobrevivido.

A Dr. Silvio y todas las personas de UNESP que me recibieron con los brazos abiertos, mostrándome cosas nuevas y campos por explorar en el medio de la investigación.

A los que faltaron también.

RESUMEN

Rubén Miguel Velázquez Mendoza.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro con orientación en Logística Global.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: APLICACIÓN DEL PROBLEMA DE PARTICIONAMIENTO DE CONJUNTOS PARA LA AGRUPACIÓN POR FAMILIAS EN EL PROCESO DE CERTIFICACIÓN.

Número de páginas: 65.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: Para todas aquellas empresas y comercializadoras que estén interesadas en la importación y comercialización de productos en el país de México es obligatoriamente necesario obtener un certificado del producto que nos indica el cumplimiento de la normatividad del país, por lo que cada producto tiene que pasar por un proceso de certificación, el cual consta de reunir la papelería necesaria requerida, así como realizar unas pruebas de funcionalidad de los productos. Cuando la cantidad de productos es muy grande los organismos de certificación permiten la posibilidad de agrupar diferentes productos en una familia de acuerdo a ciertos criterios de similitudes de productos, de esta manera, emitir un solo certificado por familia, es decir, un solo certificado para un grupo de productos

con características iguales, también permite realizar pruebas a un solo producto, el más débil, y si pasa las pruebas de destrucción no es necesario hacer pruebas a los demás productos de la misma familia.

El objetivo de esta investigación es formular un modelo matemático basado en el problema de particionamiento de conjuntos (PPC) que permita minimizar la cantidad de familias de productos con características similares, con el fin de disminuir tiempos y costos relacionados con el proceso de certificación.

La metodología utilizada en este proyecto de investigación se basa en la investigación de operaciones mediante la utilización de modelos de optimización de programación lineal, por lo que se identificarán los criterios y requerimientos necesarios para desarrollar el modelo que permita dicha asignación de productos, sin que estos productos pertenezcan a más de una familia, en otras palabras, que evite la posibilidad de que un producto esté en dos certificados diferentes. Con el modelo obtenido se analizarán casos pruebas y se llevarán a la programación mediante un software de solución de modelos de optimización matemática, los resultados serán comparados con el proceso actual.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Se planteó un modelo de optimización basado en PPC que permite adaptarse a los requerimientos de asignación de productos a familias para el proceso de certificación, como alternativa al proceso actual empírico.

Este modelo arroja resultados de mucho menor tiempo total en agrupar familias en comparación al proceso actual, con la seguridad de tener menor agrupación total de familias

Firma del asesor: _____

Dr.Jania Astrid Saucedo Martínez

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El cumplimiento de la normatividad en México es necesario para la importación de productos o servicios, con esto, el gobierno protege el mercado y a los consumidores asegurando la correcta funcionalidad y paridad con las instalaciones de los productos que serán comercializados dentro del país, por otra parte, también las empresas se ven beneficiadas ya que con este documento, respaldan la calidad y funcionamiento de sus productos, permitiendo una entrada más rápida al mercado nacional. Por otra parte, esto hace que se regulen las especificaciones técnicas de los productos, por ejemplo, para una lámpara se revisa la capacidad de voltaje, amperaje, etcétera o inclusive la entrada del tomacorriente.

En esta tesis se propone una herramienta, como la investigación de operaciones, con una de sus ramas, la programación lineal, en la cual nos basaremos, para realizar una formulación matemática entera, para minimizar la cantidad de certificados emitidos por un Organismo Nacional de Normalización (ONN), tomando como referencia el PPC. Estos organismos son los responsables de mantener que los productos comercializados en el país cumplan con los requerimientos adecuados, dependiendo del tipo de producto o servicio.

Para tener un control de los productos importados los ONN piden como requisito a las empresas que realicen un proceso de certificación, y de acuerdo a este se

emiten o no los certificados. Los ONN emiten certificados por producto, o también por agrupación de productos que tienen características similares, al permitir realizar esta agrupación de productos en familias, es posible someter tres productos del mismo tipo a pruebas, preferentemente el más propenso a una falla en las pruebas que se efectuarán y que llamaremos cabeza de familia, si el producto pasa de forma satisfactoria estas pruebas quiere decir que los demás productos de la misma familia tendrían los mismos resultados, por lo que el ONN acepta los resultados.

El objetivo del estudio desarrollado es reducir la cantidad de familias de productos con características similares con finalidad de asegurar la agrupación óptima y con esto reducir costos relacionados con la papelería, pruebas y derivados del proceso de certificación, de igual forma disminuir el tiempo del proceso, que esto impacta en la logística de la empresa directamente, y cumpliendo a su vez, con las normatividades nacionales del país.

Los resultados obtenidos con el modelo propuesto serán comparados con los datos históricos de una empresa que ayuda con el proceso de certificación, incluyendo la agrupación de productos, pruebas a los productos, entre otros. De acuerdo a los casos que serán proporcionados se realizará un análisis y con esto mostraremos una forma de optimizar la forma en que realizan la agrupación, teniendo la oportunidad de implementación y obtener una ventaja competitiva en su rubro. Al optimizar las agrupaciones no solo se agilizan las actividades de certificación, si no existe la oportunidad de reducir la cantidad de familias, papelería, pruebas, etcétera. El modelo matemático propuesto no solo será portable para otras empresas, si no también puede ser ajustado para diferentes productos y normas en las que se requiera una agrupación de productos, todo esto solamente si los datos son ajustados a los parámetros requeridos por un ONN.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para un producto extranjero a comercializar en México es necesario que cumplan con la normatividad vigente ya que es uno de los principales requisitos que el país exige a los productos que se desean ser importados y comercializados al país, con el propósito de asegurar el funcionamiento correcto de los productos y que estos se encuentren dentro de los estándares o lineamientos de seguridad y paridad de la región. No cumplir con la normatividad puede presentar sanciones o simplemente denegarse la entrada a los productos. Por lo que las empresas deberían realizar o en su defecto asistir con un especialista que les ayude, con el proceso de certificación para cumplir con dichas normas.

El proceso de certificación es una serie de pasos y requisitos que tienen que llevarse a cabo para lograr emitir un certificado, dentro de estos pasos existe la posibilidad de hacer agrupaciones por familias de productos para agilizar este proceso, dicha agrupación actualmente se hace de una forma manual y el tiempo para lograr realizarla se vuelve mayor entre más productos se van a certificar, por otra parte, asignar estos productos dependen del conocimiento de la persona que realiza la actividad, lo que permite una posibilidad de error de criterio de observación, es por eso que es recomendable que dicha actividad sea realizada por una persona con mucha experiencia, en caso contrario, puede suceder que la agrupación no sea correcta y terminar en una mayor cantidad de familias con consecuencia en costo mayor relacionado al proceso de certificación. Otro factor importante es el tiempo en que se realiza la agrupación de productos porque de esta actividad dependen algunas otras como serían las pruebas a realizar, toma de decisiones logísticas, entre otros. Estos tiempos y costos impactan directamente en la cadena de suministro de la empresa.

Lo anterior nos lleva a plantear la siguiente interrogante principal que orientará durante la investigación; ¿es la forma en que se agrupan los productos por familia la menor posible?

En este documento, se hace un análisis del proceso de agrupación de familias, con el fin de solucionar la interrogante principal, proponiendo un modelo matemático y mediante un *software* de optimización llamado *GAMS* asegurar el funcionamiento óptimo de modelo, que en consecuencia nos arrojaría la información requerida para cumplir con el objetivo de agrupar los productos en la menor cantidad de familias, esto permitirá obtener algunas ventajas como reducir costos relacionados con el proceso de certificación, pruebas, papelería, disminuir el tiempo de respuesta relacionado al proceso, lo cual permite un margen mayor de toma de decisión para el encargado de la logística de la empresa, así como otras ventajas relacionadas con la optimización de este proceso.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Formular un modelo matemático basado en el problema de particionamiento de conjuntos (PPC) que permita minimizar la cantidad de familias con características similares, y con ello reducir la papelería de certificación y pruebas, cumpliendo con la normatividad.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el año 2013 México gastó una cantidad de \$381,700 millones de dólares americanos y en el 2014, \$400,400 millones en importaciones [12], según los últimos datos del Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM), catorce mil ciento cincuenta y siete empresas importan algún producto a México [28], esto quiere decir que el dos por ciento de las empresas registradas se relacionan de alguna manera con el proceso de certificación (figura 1.1), ya sea que ellos o sus proveedores lo realicen, o bien contraten algún servicio externo. Por lo que este proyecto de investigación es de interés para todas aquellas empresas que se involucran en la importación y

comercialización de productos, así como las que ayudan en dicho proceso, por lo cual es importante la correcta agrupación de familias con la finalidad de emitir la menor cantidad de certificados que son requisitos para cumplir con la normatividad del país, ya que esto implica reducir los costos relacionados tanto de papelería, como de los trámites surgidos por la emisión del certificado, esto incluye las pruebas que se realizan a las cabezas de familia (el producto dentro de la familia al que se le harán las pruebas y el que tiene más desventajas o probabilidades de fallar), el total de productos que serán sometidos a las pruebas, los pagos por los certificados (familias) y los costos relacionados al proceso en general de certificación. La forma en que la mayoría de estas empresas realizan la asignación es empírico, es decir, a base de experiencia y conocimiento, esto se da porque la agrupación de productos se da por cuestión de apreciación de la persona que realiza esta función, y de acuerdo a los criterios que el organismo certificador ha definido para realizar dicha asignación, por lo que la agrupación de familias no necesariamente es la óptima, o la mejor asignación en determinada familia, esto puede incurrir en errores derivados por la persona que ha sido encargada en esta actividad.

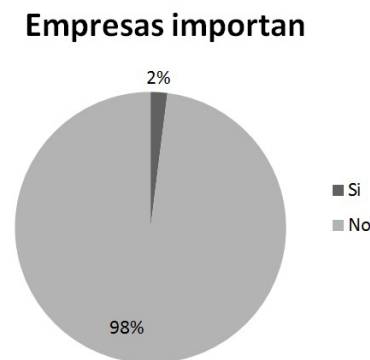


Figura 1.1: Porcentaje de empresas que importan productos a México.

La propuesta que se plantea, cambiará la forma en que se realiza este trabajo actualmente, debido a que la toma de decisión se llevará a cuenta de una máquina que este procesando los datos, esto no quiere decir que todos los errores se evitarían, porque a fin de cuentas la actividad humana sigue siendo necesaria en estos procesos. Lo que sí puede ser considerado como un avance en el rubro, ya que los resultados que

se obtienen del modelo propuesto están asegurando la correcta asignación y por lo tanto óptima de los productos a las familias correspondientes, esto marca una pauta en la negociación de los servicios que se prestarán, por el simple hecho que tienes una respuesta mucho más rápida y concreta a los requerimientos de certificación y el cliente puede planear en base a estos resultados la parte logística de su cadena de suministro, esto viene proporcionar una enorme ventaja competitiva al negocio justo dentro del proceso de importación, por el simple hecho de que se puede mejorar el proceso de importación de los productos que se desean comercializar.

Esta investigación beneficiará a las empresas, al cliente, así como las empresas que proporcionan servicios de proceso de certificación, ya que el proceso será más ágil y al mejor costo.

1.4 HIPÓTESIS

Mediante la modelación matemática se optimizará la agrupación de productos a familias con características similares, minimizando la emisión de certificados y los costos relacionados con este proceso, como son la papelería, pruebas, etcétera, los cuales son necesarios para cumplir con la normatividad del país.

1.5 METODOLOGÍA

La metodología que se propone en este proyecto de investigación es basada en la investigación de operaciones, tomando en consideración el análisis del proceso actual, con el fin de identificar los criterios necesarios para el desarrollo del modelo, con esto, podremos saber cuáles son los requisitos que se deben cumplir para formar una familia, con estos datos se procederá a analizar cuál de los problemas de programación lineal es el que se adecua más a las necesidades, una vez realizado esto, podremos definir las variables, así como la estructura del modelo matemático de

programación entera, el cual posteriormente será llevado a un software de solución llamado *GAMS*, con el que se tendrán los resultados que se esperan serán los óptimos para su solución en base al modelo propuesto.

La metodología relacionada al estudio de la investigación de operaciones y con la cual se trabajó a lo largo del proyecto, es resumida en los siguientes pasos o fases:

1. Revisión de las normas y contextualización de las mismas con la normatividad. Buscar la información relacionada con la normatividad y los criterios que se tienen que cumplir para emitir un certificado, realizar análisis de los puntos necesarios para agrupar los productos por familias con los que se podrán formular el problema.
2. Formulación del problema. Implica definir los objetivos y metas, examinar los recursos y aspectos relevantes, determinar programas de acción.
3. Desarrollo de un modelo para representar el problema que se está estudiando. Acotar el problema de una forma estructurada generalmente matemática en la cual deben estar los objetivos y las restricciones para lograrlo. Esto puede desglosarse en varios modelos y enfrentarlo con la realidad, hasta encontrar el adecuado.
4. Búsqueda de una solución al modelo. Hallar la solución óptima para lograr el objetivo.
5. Poner en práctica la solución. Implementar la solución, puede ser en modo de prueba o ya definitiva.
6. Establecimiento de controles sobre la solución. Poner atención a los cambios, con el fin de incorporarlos al modelo, aquí se refiere a la retroalimentación.

Con estos pasos, podemos guiar las etapas del desarrollo de la investigación alineada al objetivo meta y lograr los mejores resultados.

1.6 RESULTADOS E IMPACTOS ESPERADOS

En este proyecto de investigación se logrará desarrollar un modelo matemático que permita obtener una agrupación óptima de productos en familias, con la finalidad de agilizar el proceso de certificación, esto también podría verse reflejado en una posible emisión menor de certificados, menor cantidad de pruebas, papelería y por consecuente reducir los costos relacionados. De esta manera la empresa podrá obtener ventajas competitivas de negociación con los clientes que desean importar y comercializar sus productos en México, ya que de esta manera el cliente podrá visualizar el costo total de los certificados en un tiempo mucho más corto, esto hace que la visualización de su cadena de suministro obtenga un margen mayor de planeación para su movilidad y poder llevar los productos a su destino (cliente), agilizar este proceso certificación permite un margen de toma de decisión más amplio ya que ayuda a la hora de realizar un cambio ya sea en los productos, transporte, etcétera, porque se está realizando una optimización en el proceso de certificación, y se espera un menor tiempo de respuesta en relación a este proceso.

Para lograr este objetivo se realizarán varios casos pruebas proporcionados por una empresa que cuenta con el servicio de asesoría para la certificación, pruebas a los productos, entre otros, estos casos pruebas serán llevados a la programación computación y posteriormente serán comparados con los resultados obtenidos del modelo propuesto, esperando una considerable mejora, ya sea en una menor cantidad de familias o en un resultado más rápido comparado con el proceso actual.

Logrando de esta manera, crear una herramienta para agilizar el proceso de certificación que pueda ser usada por toda aquella empresa que sea de su interés mejorar este proceso, ya que como ha sido mencionado con anterioridad el modelo permite hacer algunos cambios de adaptación. Por otra parte este proyecto abre la posibilidad de desarrollar el uso de este modelo con algún otro software de optimización, o crear alguna fuente que realice esta función.

1.7 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Esta tesis tiene la estructura descrita a continuación.

En el capítulo 1 se describe de forma clara el tema a desarrollar en esta tesis, se presenta la descripción del problema, el objetivo general, la justificación, la hipótesis, la metodología en que se basa la investigación y los resultados e impactos esperados.

En el capítulo 2 se muestran los antecedentes del tema referentes a la normatividad, cadena de suministro e investigación de operaciones. En el tema de investigación de operaciones se desarrollan los subtemas de programación lineal, los diferentes problemas de cobertura, un análisis de diferencias y similitudes entre ellos y los métodos de solución para el problema seleccionado en el que se basa esta tesis.

En el capítulo 3 se propone un modelo de solución matemático para el problema de investigación.

En el capítulo 4 se realiza una descripción del equipo y programa que fueron utilizados durante la investigación, los casos pruebas y el análisis de los resultados.

En el capítulo 5 se desglosan los comentarios finales a los que se ha llegado con la investigación.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Para entender un poco más acerca de este problema se consideró dividir este capítulo en tres partes que son importantes conocer. En la primer parte se desea dar un enfoque en relación a las cuestiones de normatividad, ya que para el proceso de certificación es primordial saber porque se deben cumplir con estos lineamientos, por lo que se hablará sobre cuáles fueron las bases de su creación y como fueron adaptadas a las necesidades del país mexicano, así como, del porque se debe tener un control de los productos que entran al país y que se desean comercializar en el mercado nacional. En esta primera parte también se hablará sobre el proceso en general para poder certificar los productos. En la segunda parte se describe el concepto de cadena de suministro y cómo impacta el proceso de certificación en la misma. En la tercera parte serán desarrollados los temas relacionados con investigación de operaciones, sus antecedentes, así como de sus derivados como la programación lineal y como puede ayudar esta rama de la investigación de operaciones en este proyecto de investigación, y también algunas de las ventajas que se obtienen por optimizar los procesos mediante la modelación matemática. En esta tercera parte también se hará un análisis de tres diferentes modelos matemáticos, con algunas características similares, con la finalidad de poder elegir cuál de ellos cumple con los requisitos necesarios para lograr el objetivo de la tesis y las restricciones que se deben considerar.

2.1 NORMATIVIDAD

La Subsecretaría de Competitividad y Normatividad implementa políticas con el propósito de fortalecer la competitividad del país, generando una regulación eficiente y una estructura de normas simplificada que reduzca los costos en su cumplimiento. Por lo que objetivo de la Subsecretaría es el fortalecimiento de la competitividad económica nacional y por consecuencia el desarrollo de las acciones necesarias que generan la confianza y el ingreso de la inversión extranjera que el país requiere. Así mismo, promueve el crecimiento de la actividad económica mediante el desarrollo y aplicación de una normatividad clara, eficaz y simplificada [25].

Desde la época porfirista, un medio eficaz de control consistió en caracterizar un servicio o producto de tal manera que solo quien lo hiciera originalmente pudiera obtener un beneficio económico, excluyendo del mercado a cualquier otra empresa que intentara realizar algo similar, como fue el caso del ancho de vía o trocha en los sistemas ferrocarrileros, donde cada compañía que instalaba un sistema de ferrocarril obligaba a usar la trocha que ellos quisieran, por lo que la adquisición de equipos como trenes debía realizarse solo a través de ese fabricante, lo que obligaba a cambiar de tren en cada cambio de ancho de vía, como ocurre aún en las fronteras entre varios de los países de la Unión Europea, obligando al gasto en el cambio de las mercancías entre los carros de diferentes sistemas [2], todas estas medidas de diferenciación ayudaron a los países a tener cierto control más que nada en cuestiones de defensa militar, otros ejemplos también los podemos ver en las codificaciones de televisión, radio, tomacorrientes, símbolos, etcétera. Pero con el transcurso del tiempo llegó un momento en que la necesidad de conexión entre los países por cuestiones mercantiles y de conveniencia obligó a estandarizar estas diferencias, por lo que en el año de 1947 se crea la Organización Internacional de Estandarización, mejor conocida como ISO (por sus siglas en inglés de *International Organization for Standardization*) en la cual los diferentes países miembros pueden debatir para eliminar, crear u homologar estándares para los productos o servicios que se intercambian entre ellos, aunque en

la mayoría de casos los estándares emitidos por ISO solo son recomendaciones para que sean adoptadas por los países miembros con el adecuado trato legislativo en sus territorios [22].

En México, la estandarización fue influenciada por Estados Unidos y su economía lo que obligaba que se emitieran leyes y reglamentos a usar ciertas características por ejemplo, en cuestión de voltajes 50 hz o corriente alterna, entre otros. Es así como por 20 años la acumulación de dichas leyes y reglamentos que obligaba a los fabricantes, productores y prestadores de servicios mexicanos a cumplir con un mínimo de características en sus productos, pero en 1986 con la entrada de México al *GATT* que es el *General Agreement on Tariffs and Trade* (en español, conocido como el Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio) [16], se compromete el gobierno a usar las recomendaciones de ISO y de otras organizaciones internacionales para crear sus propios estándares, lo cual se concreta con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización en su primera versión, que obliga a usar solo un sistema cuantitativo de medida; en concreto, el llamado Sistema General de Unidades de Medida, que se integra con el Sistema Internacional de Unidades y las no comprendidas en el sistema internacional que se acepten por ley, además de una serie de documentos llamados normas, que estandarizan, en todo el territorio mexicano, ciertas características de los productos que involucran esos documentos.

Se crearon, para ese fin, dos organismos del gobierno federal: uno técnico, llamado Centro Nacional de Metrología (CENAM), y otro administrativo, llamado Dirección General de Normas (DGN), ambos dependientes de la entonces llamada Secretaría de Industria, hoy Secretaría de Economía (SE), pero para el caso de la representación del gobierno federal en los ámbitos internacionales ambos organismos dependen de la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE). Así, durante las décadas de 1980 y 1990 la DGN emite una serie de normas con base en recomendaciones de instancias de carácter técnico tanto nacionales como internacionales, las cuales abarcan básicamente solo los productos y servicios para la venta al público en general, pero el uso de normas empieza a resultar adecuado para evitar el paso por el poder

legislativo.

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) publicada en el Diario Oficial de la Federación, el 1 de julio de 1992, pretendía uniformar los procedimientos de normalización y medición, estableciendo esquemas uniformes que permitieran superar los problemas de discrecionalidad y legalidad que subsistían en la ley de 1988. La vigente ley ha sido reformada dos veces: el 24 de diciembre de 1996, con el objeto de modificar las competencias de SECOFI, y cambiar el procedimiento de modificación y cancelación de las NOM (Normas Oficiales Mexicanas), que con las reformas del 20 de mayo de 1997 fue adecuado de nuevo. Estas reformas se han realizado en el marco del programa nacional de desregulación y con el propósito de eliminar algunas ineficiencias de la ley que se han manifestado en los últimos años; sin embargo, la respuesta real a los problemas que enfrenta la aplicación de la ley podrían resolverse con la expedición del reglamento, ya que actualmente carece de reglamentación y al derogarse la ley se derogaron todos los reglamentos de las leyes anteriores.

La ley menciona distintos tipos de normas entre las que encontramos las NOM, las normas mexicanas, las normas de emergencia y las normas de referencia [21]. De acuerdo con la SE existen diez ONN registrados, los cuales son personas morales que tienen como objetivo principal la elaboración y expedición de normas mexicanas relacionadas con las materias en que sean registrados por la Dirección General de Normas. La información relacionada con estos ONN pueden ser encontradas en la página oficial de la SE y sus respectivas páginas web para obtener más información acerca de ellos [27].

Por lo tanto, de que forma afecta la normatividad dentro de la cadena de suministro. Primero que nada es necesario saber que es cadena de suministro, para el Consejo de Dirección Logística en el año 2015 (*CSCMP*, por sus siglas en inglés de *Council of Supply Chain Management Professionals*) la logística es «La parte del proceso de la cadena de suministro que planea, lleva a cabo y controla el flujo y

almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes».

De acuerdo a la definición anterior, la cadena de suministro también se encarga de la papelería de los productos o servicios, por lo que cumplir con los lineamientos o requerimientos es una función que debería realizar el encargado de la logística, claro está si es que existe dentro de la empresa, los cuales tienen que trabajar con las instituciones que realizan el proceso certificación, como son los ONN que en conjunto con los laboratorios de pruebas, calibración y verificación que abalados por la SE del país mediante la evaluación de conformidad realizan dicho proceso para cumplir con la normatividad del país [26].

Cumplir con la normatividad y tener un certificado del producto tiene algunos beneficios como; ingreso inmediato del producto al país, garantía de seguridad de uso de los productos, los clientes tienen preferencia por estos productos porque son más seguros y confiados de que la ficha técnica escrita fue revisada por las autoridades pertinentes, y también evitan multas e inmovilización de los productos, como es el caso de algunos productos que han sido retirados del mercado, por ejemplo juguetes con una cantidad muy alta de plomo en su pintura [13].

2.1.1 PROCESO DE CERTIFICACIÓN

La certificación es la prueba para los clientes de que han sido satisfechas las exigencias de la normatividad del país, esto incluye tantos los aspectos legales como los de seguridad de los productos, todo esto porque la emisión de certificados es llevada por una entidad independiente de las partes interesadas, es decir, un ONN.

Existen diferentes definiciones para certificación de un producto, las cuales varían para el giro al que pertenecen o al sector, de acuerdo al tema de investigación creo a mi parecer conveniente la siguiente: es un proceso mediante el cual se garantiza

la calidad y las características de un producto final según lo establecido en una norma específica u otros documentos preestablecidos.

El cumplimiento de la certificación de productos es vital para demostrar la calidad del producto, y esto se vuelve una entrada inmediata al mercado comúnmente. Esto quiere decir que sirve para comunicar la calidad de los productos certificados, aumentar la confianza de los consumidores finales, diferenciarse de la competencia, garantizar la seguridad de los productos.

Según la SE en su página oficial para cumplir con la normatividad del país es necesario realizar una evaluación de conformidad. La evaluación de la conformidad es la determinación del grado de cumplimiento con las NOMS o la conformidad con las normas mexicanas, las normas internacionales u otras especificaciones, prescripciones o características [26]. Los procedimientos para cumplir con la evaluación de conformidad son los siguientes:

1. Muestreo. Mediante una constatación ocular de los productos, y de los resultados de las pruebas y calibración de los mismos.
2. Prueba. Que deberán ser hechas por laboratorios de pruebas.
3. Calibración. Medición por parte de un laboratorio de calibración.
4. Certificación. Por el ONN seleccionado de acuerdo al producto.
5. Verificación. Realizada por una unidad de verificación.

Todos los productos, procesos, métodos, instalaciones, servicios o actividades deberán cumplir con las NOM, nos referimos a cuando la empresa se encuentra instalada en el país. En cambio cuando un producto o servicio deba cumplir con una determinada NOM, sus similares a importarse también deberán cumplir las especificaciones establecidas en dicha norma.

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización, establece la posibilidad de que entidades privadas lleven a cabo la función de evaluar la conformidad con las

normas mediante constatación ocular, muestro, medición, pruebas de laboratorio o examen de documentos. Estos agentes evaluadores de la conformidad, que además tienen que estar acreditados y aprobados; de acuerdo a sus actividades y funciones, son conocidos como:

1. Organismos de certificación. Personas morales con la función de certificación, lo que es lo mismo que, evaluar un producto, proceso, o servicio está ajustados a las norma.
2. Laboratorios de prueba. Son aquellas instalaciones que cuentan con la capacidad ya sea técnica, material y humana para realizar las mediciones, análisis o determinar las características de materias, productos o equipos de acuerdo a especificaciones que ya fueron establecidas.
3. Laboratorios de calibración. Cuyos servicios son proporcionar una medición y calibración por actividad específica con trazabilidad a los patrones nacionales autorizados por la SE.
4. Unidades de verificación. Una persona física y moral que hace actos de verificación, es decir, lleva a cabo actividades de evaluación de conformidad a través de la constatación ocular o comprobación, mediante muestreo, medición, pruebas de laboratorio o examen de documentos, sus servicios son técnicos, imparciales y confidenciales.

El proceso general de certificación puede verse de la siguiente manera:

1. Querer comercializar un producto en México. Conocer el producto, sus especificaciones técnicas y todo lo relacionado al mismo.
2. Hacer pruebas en el laboratorio. Realización de pruebas a los productos a importar.
3. Solicitud de la certificación. Información preliminar y cuestionario de evaluación.

4. Revisión de la documentación. Revisión de la documentación aportada por el cliente y estudio de la normativa o pliegos de condiciones aplicable al producto.
5. Auditoría de certificación. Designación de un equipo auditor aceptado por el cliente y auditoría de producto y toma de muestras.
6. Acciones correctoras. Presentación de las acciones corregidas.
7. Evaluación y dictamen. Revisión de las acciones correctoras presentadas, evaluación de los resultados analíticos y conclusión del proceso de certificación.

Algunos ejemplos de las pruebas a las que se someten los productos son: las pruebas de cámara salina con la cual el producto se somete a vapor de sal con la finalidad de saber que tanto puede resistir un producto al medio ambiente, otra es la prueba de vida donde son sometidos a las funciones que deben realizar comúnmente y aplicando variaciones de voltaje para verificar su resistencia y calidad, la prueba de funcionamiento se verifica el uso adecuado del producto en un tiempo determinado y condiciones normales de uso, etcétera. Basados en los datos obtenidos con los resultados de la auditoría, se emite o se niega la certificación del producto.

2.2 ¿QUÉ ES LA CADENA DE SUMINISTRO?

Dentro de las empresas se han forjado departamentos que van tomando cada vez más importancia por la capacidad de toma de decisiones, la cadena de suministro exige una administración y control tal, que permite que diferentes áreas trabajen en conjunto, a esto le llamamos integración, de esta forma cada área (producción, calidad, transporte, ventas, etcétera) se convierte en un eslabón importante dentro de la cadena de suministro, lograr dicha integración se convierte en todo un reto, hacerla funcionar correctamente se vuelve en una tarea que sin más, puede determinar el éxito o el fracaso de las compañías hoy en día. Se ha llegado el momento que pensar solamente dentro las cuatro paredes llegará a su límite, es decir, que más se puede

reducir dentro de las operaciones de una compañía, esto es no gastar nada, o como también puede ser traducido como mejor no produzcamos así no gastamos. Esto no significa que no sea bueno el sistema al que estamos acostumbrados a trabajar, muchas compañías lo hacen y cuentan sus éxitos, pero, siendo en la actualidad un tema de competencia global, como podemos competir si los productos o servicios cada vez se están convirtiendo más rápido en *commodities* (productos sin diferenciación cualitativa), la facilidad de información, o del robo de información permite que otras compañías tengan productos cada vez mas similares a los propios, por lo que trabajar en conjunto con los diferentes departamentos de la empresa nos abre un panorama de oportunidades de mejora, donde un enfoque al servicio al cliente canaliza los esfuerzos por marcar una tendencia a la diferenciación del producto o servicio, permitiendo posicionar a la empresa en una ventaja en comparación con su competencia directa, con esta forma de ver las cosas las posibilidades de mejora aumenta, ya que el límite de hacer esto, es decir dar el servicio al cliente, tiende a infinito. No todo es tan fácil como parece, esta forma de ver el negocio también tiene sus ventajas y desventajas, por lo que lograr el equilibrio entre el servicio al cliente y el costo a servir, es donde realmente viene el reto. En [4] se muestra la definición de lo que es cadena de suministro; «un conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumido».

Es importante que cada uno de los eslabones que conforman la cadena de suministro estén bien fortalecidos para que no colapse y el negocio sea exitoso, de tal forma que tenemos ahora sí, muchas oportunidades de mejora simplemente por visualizar el entorno desde la perspectiva macro del proceso y volvernos mucho más competitivos. El proceso de cadena de suministro es bastante sencillo, pero en lo personal me gustaría describirlo de esta manera; es la administración y control del flujo del producto o servicio a través del proveedor de tu proveedor hasta el cliente final. En la figura 2.1 se describe de forma visual como sería este proceso.

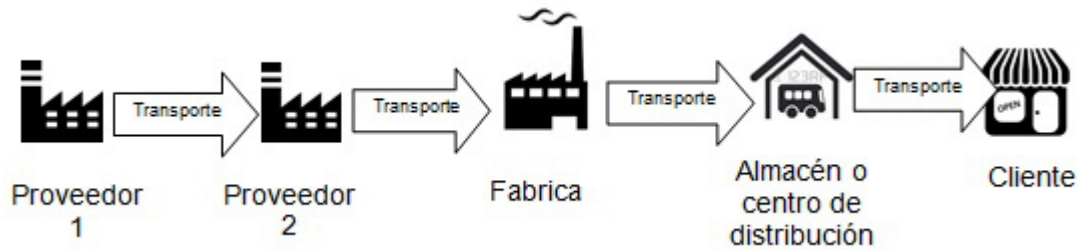


Figura 2.1: Proceso de cadena de suministro

Descrito por pasos quedaría de la siguiente forma:

1. El proveedor de tu proveedor, por lo general estaría el de materias primas o el primero proceso de manufactura.
2. El proveedor de tu proveedor envía las mercancías al proveedor.
3. El proveedor realiza su parte de transformación.
4. El proveedor envía las mercancías a la fábrica.
5. Se transforma el producto, o se ensamblan las piezas.
6. Se envía de la fábrica al centro de distribución o almacenes.
7. En el centro de distribución se canalizan los pedidos que serán enviados o se consolidan los productos para su envío.
8. Los productos son enviados al cliente.
9. El cliente los recibe.

Para entender acerca de la problemática que se está analizando en este proyecto, es necesario ubicarnos en la figura 2.1 pero desde el punto de vista global. En la cual, para realizar la importación de un producto que se desea comercializar, se necesita una información y documentación para que esta pueda entrar o salir del país, esto quiere decir, que se debe cumplir con la normatividad del país, con el

fin asegurar la seguridad y regulación de los mismos. Estas actividades afectan en las partes de logística relacionada al transporte dentro de la cadena de suministro (figura 2.2).

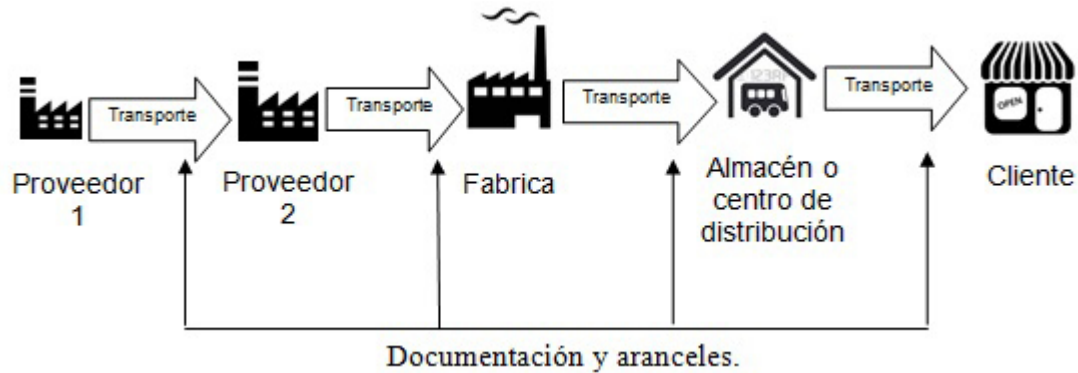


Figura 2.2: Proceso de cadena de suministro internacional

Justo en estas partes son las que afecta el proceso de certificación y es donde será enfocado el desarrollo de la investigación, con la finalidad de a cumplir con todos los requerimientos que el ONN, que en nuestro caso sería ANCE, tiene entre sus paquetes para cumplir con las normas necesarias para asegurar la funcionalidad y seguridad de los productos y poder comercializarlos en el país, ya que sí un producto no contara con la certificación correspondiente, entonces este no puede ser vendido en el país de forma legal y podría recibir una penalidad por las autoridades correspondientes, también tendrían un cese de actividades y posiblemente denegarse la entrada de los productos al país mexicano. Los beneficios que la empresa obtiene de certificar sus productos, es la rapidez de introducción al mercado ya que demuestra la seguridad de los productos y paridad referente a la funcionalidad, en cuestión de clavijas, voltajes, etcétera, de acuerdo a los lineamientos del país, además de que los clientes, tienen una tendencia a preferir productos certificados. Por otra parte, se evitan multas e inmovilización del producto.

2.3 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

La investigación de operaciones, la cual se enfoca en la optimización de recursos, tiempos, etcétera de una forma numérica, como muchas ciencias surgen de la necesidad de aprovechar los recursos en tiempos de guerra, las primeras actividades provienen de Inglaterra en la segunda guerra mundial, se buscaba minimizar o maximizar los recursos o los costos ya sea de la producción, distribución, almacenaje, entre otros. Con el paso del tiempo dichas actividades se movieron al sector civil donde se sacaría más provecho para mejorar la eficiencia y productividad. La terminología básica de la investigación operaciones, que comprende el modelado matemático, soluciones factibles, optimización y cálculos iterativos. Hace hincapié en que la definición correcta del problema es la fase más importante (y más difícil) de practicar la investigación de operaciones. También se recalca que si bien el modelado matemático es la piedra angular de la investigación de operaciones, en la decisión final se deben tomar en cuenta factores incuantificables, por ejemplo el comportamiento humano, en la investigación de operaciones no se cuenta con una técnica general única para resolver todos los modelos que puedan surgir en la práctica. En su lugar, el tipo y complejidad del modelo matemático determina la naturaleza del método de solución [29].

En consecuencia, la investigación de operaciones se aplica a la problemática relacionada con la conducción y la coordinación de actividades en una organización. La investigación de operaciones incluye el término investigación en el nombre porque utiliza un enfoque similar al que se aplica en las áreas científicas establecidas. El método científico se utiliza para explorar los diversos problemas que deben ser enfrentados, pero en ocasiones se usa el término *management science* o ciencia de la administración como sinónimo de investigación de operaciones. El proceso comienza por la observación cuidadosa y la formulación del problema, lo cual incluye la recolección de los datos pertinentes. El siguiente paso es la construcción de un modelo científico, que por lo general es un modelo matemático, con el cual se inten-

ta abstraer la esencia del problema real. En esta etapa se propone la hipótesis de que el modelo será una representación tan precisa de las características esenciales de la situación, que permitirá que las conclusiones, es decir, las soluciones que se obtengan sean válidas también para el problema real. Después se llevan a cabo los experimentos adecuados para probar esta hipótesis, para modificarla si es necesario y para verificarla en determinado momento, paso que se conoce como validación del modelo. Una característica adicional de la investigación de operaciones es que intenta encontrar una mejor solución, lo que llamamos como solución óptima para el problema en cuestión. En lugar de conformarse con mejorar el estado de las cosas, la meta es identificar el mejor curso de acción posible [20].

Una de las principales ramas de la investigación de operaciones es la programación lineal. Dentro de esta categoría se consideran los modelos de optimización en la cual las funciones que componen esta categoría, que son función objetivo y restricciones, son funciones lineales en las variables de decisión. Este tipo de modelos de programación lineal son frecuentemente usados por su sencillez en problemas relacionados con las áreas de ingeniería y matemáticas, esto permite en las empresas relevantes beneficios y ahorros que son relacionados a su utilización, por ejemplo planeación de producción, planeación de recursos humanos tanto en personal como en su horario, cantidad de materiales a utilizar, entre otras muchas actividades que requieren cualquier tipo de planeación o administración de recursos. Por otra parte también se pueden planear dietas, los recorridos que se van a hacer, decisión de inversiones, planeación de inventarios y un sin número de aplicaciones en distintas áreas. Para todos estos problemas se utiliza una estructura común; se requiere optimizar un objetivo sujeto a una serie de restricciones; claro está que estas restricciones deben ser expresadas linealmente, y esto es precisamente el modelo de la programación lineal.

La programación lineal utiliza un modelo matemático para describir el problema que se está estudiando. El adjetivo lineal significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales. En este caso, la palabra pro-

gramación no se refiere aquí a términos computacionales, en esencia es sinónimo de planeación a la que hace referencia. Por lo tanto, la programación lineal involucra la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo; esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada entre todas las alternativas factibles, teniendo en consideración al modelo matemático. Aunque la asignación de recursos a las actividades es la aplicación más frecuente, la programación lineal tiene muchas otras funciones que puede realizar. En realidad, cualquier problema cuyo modelo matemático se ajuste al formato general del modelo de programación lineal, es un problema de programación lineal [20].

El desarrollo de la programación lineal ha sido clasificado como uno de los avances científicos más importantes de mediados del siglo XX, en la actualidad es una herramienta de uso normal que ha ahorrado miles o millones a muchas compañías o negocios, incluso empresas medianas, en los distintos países industrializados del mundo; su aplicación a otros sectores de la sociedad se ha ampliado con rapidez. Una proporción muy grande de los programas científicos en computadoras está dedicada al uso de la programación lineal. El tipo más común de aplicación abarca el problema general de asignar de la mejor manera posible recursos limitados a actividades que compiten entre sí por ellos.

Tomando en consideración los puntos anteriormente descritos de la investigación de operaciones y de la programación lineal, estos permiten crear una metodología de análisis de funciones de casi cualquier tipo de actividades que tiene respectivos limitantes para su toma de decisión, por lo que el objetivo de la investigación aquí desarrollada cumple con las características necesarias para poder implementar un modelo que nos ayude a optimizar la agrupación de productos en familias para su respectiva certificación.

Forma de modelo:

$$\text{máx(mín)} \quad c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned}a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1i}x_j &\leq b_1 \\a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2i}x_j &\leq b_2 \\a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{ni}x_j &\leq b_n \\x_j &\geq 0\end{aligned}$$

Como es un problema de optimización, siempre se buscará el valor máximo o mínimo de lo que se desea optimizar. Por ejemplo minimizar el número de horas empleadas para una actividad. Las ecuaciones o restricciones representan un recurso escaso que se consume en las distintas actividades o productos que se deben realizar. Y por ultimo vienen las restricciones de no negatividad. El problema de cobertura de conjuntos (PCC), el problema de empaquetamiento de conjuntos (PEC) y el problema de particionamiento de conjuntos (PPC), son unos modelos de recubrimiento del tipo de problemas clásicos, que pertenecen a la clase NP-Completo [23] y en donde la entrada está dada por varios conjuntos de elementos o datos que tienen algún elemento en común. En general, estos problemas consisten en encontrar el número mínimo de conjuntos que contengan un cierto número de elementos de todos los conjuntos. En otras palabras, consiste en encontrar un conjunto de soluciones que permitan cubrir un conjunto de necesidades al menor costo posible. Un conjunto de necesidades corresponde a las filas, y el conjunto solución es la selección de columnas que cubren en forma óptima el conjunto de filas. Estos tres problemas tienen la misma función objetivo y se diferencian en las restricciones que deben cumplir.

2.3.1 EL PROBLEMA DE COBERTURA DE CONJUNTOS

El problema de cobertura de conjuntos (PCC) es un problema clásico, que consiste en encontrar un conjunto de soluciones que permitan cubrir un conjunto de necesidades al menor costo posible. Existen muchas aplicaciones de este tipo de problemas, siendo las principales la localización de servicios, selección de archivos

en un banco de datos, simplificación de expresiones booleanas, balanceo de líneas de producción, entre otros.

Una definición más formal sería:

$A = (a_{ij})$, una matriz binaria $(0, 1)$ de dimensiones $m \times n$.

$C = (c_j)$, un vector n dimensional de enteros.

El valor c_j ($j \in N$) representa el costo del elemento j , y podemos asumir, sin pérdida de generalidad, $c_j \geq 0$ para $j \in N$. Así, decimos que una columna $j \in N$ cubre una fila $i \in M$ si $a_{ij} = 1$. El PCC busca un conjunto de columnas de costo mínimo $S \subseteq N$, tal que cada fila $i \in M$ está cubierta por al menos una columna $j \in S$.

Así, el PCC se puede plantear de la siguiente manera:

$$\text{mín} \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i \in M$$

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{si } j \in S \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \quad \forall j \in N$$

Es un problema clásico en optimización combinatoria, ciencias de la computación y teoría de la complejidad computacional. Gracias a él se han desarrollado técnicas para el campo de algoritmos de aproximación, este tipo de algoritmos son utilizados para encontrar soluciones aproximadas a problemas de optimización tipo NP-difícil, que por sus restricciones permite encontrar soluciones de calidad a diferencia de las heurísticas que son razonablemente buenas y rápidas.

Para el PCC existen múltiples soluciones factibles, de las cuales permite que un objeto se encuentre en más de una agrupación, pero solo existe un óptimo (figura 2.3).

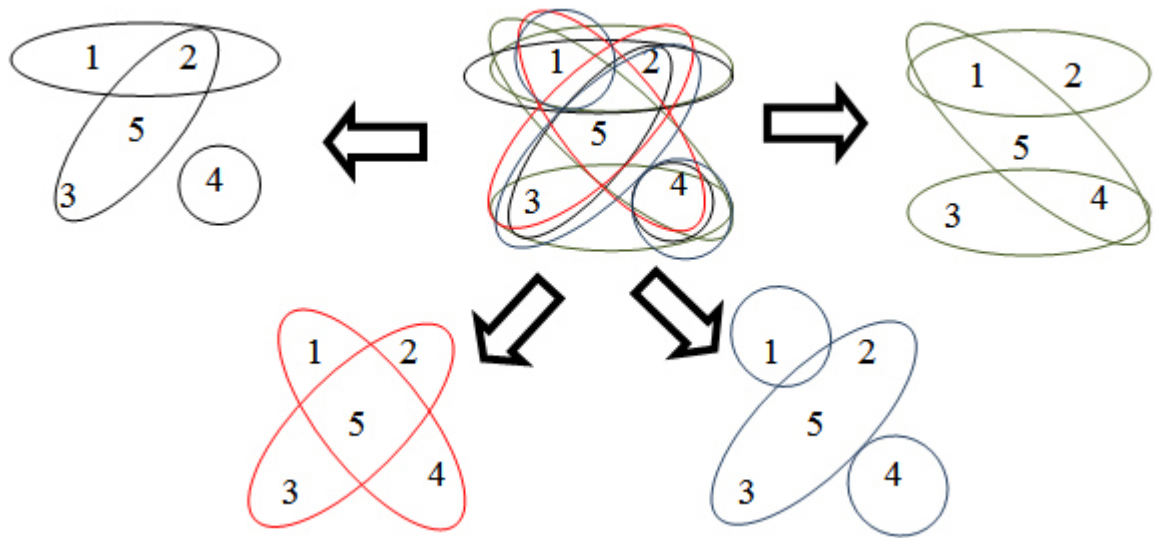


Figura 2.3: Representación grafica PCC.

Para explicar cómo se modela el PCC usaremos el siguiente ejemplo:

Ejemplo 1 PCC: Una estación de bomberos tiene la capacidad de cubrir las emergencias tanto de su comunidad como de las comunidades adyacentes a ella, por ejemplo una estación construida en la comunidad 1 (véase figura 2.4) podrá cubrir las emergencias de todo su vecindario, es decir, de la comunidad 1, comunidad 2, comunidad 3 y comunidad 5.

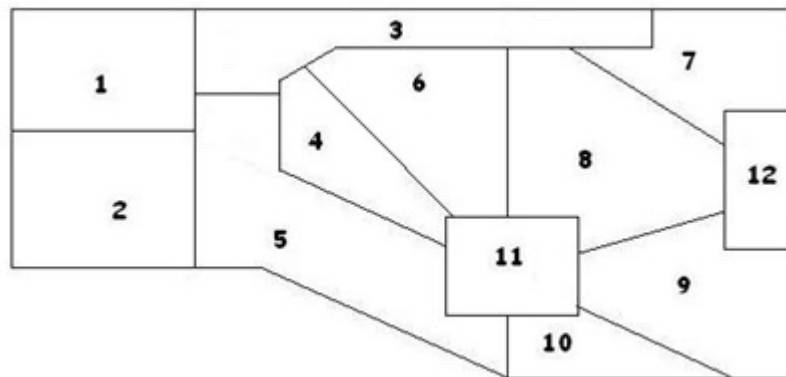


Figura 2.4: Representación gráfica de comunidades.

Se necesitan construir tantas estaciones de bomberos como sea necesario para

cubrir todas las comunidades ante posibles emergencias, cuidando que todas las comunidades estén cubiertas por al menos una estación (una o más), minimizando el número de estaciones construidas.

Variables:

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{si se construye la estacion de bomberos en la comunidad } j, \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases}$$

$$\text{mín} \sum_{j=1}^{12} x_j \quad (2.1)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_5 \geq 1 \quad (2.2)$$

$$x_2 + x_1 + x_5 \geq 1 \quad (2.3)$$

$$x_3 + x_1 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \geq 1 \quad (2.4)$$

$$x_4 + x_3 + x_5 + x_6 + x_{11} \geq 1 \quad (2.5)$$

$$x_5 + x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_{10} + x_{11} \geq 1 \quad (2.6)$$

$$x_6 + x_3 + x_4 + x_8 + x_{11} \geq 1 \quad (2.7)$$

$$x_7 + x_3 + x_8 + x_{12} \geq 1 \quad (2.8)$$

$$x_8 + x_3 + x_6 + x_7 + x_9 + x_{11} + x_{12} \geq 1 \quad (2.9)$$

$$x_9 + x_8 + x_{10} + x_{11} + x_{12} \geq 1 \quad (2.10)$$

$$x_{10} + x_5 + x_9 + x_{11} \geq 1 \quad (2.11)$$

$$x_{11} + x_4 + x_5 + x_6 + x_8 + x_9 + x_{10} \geq 1 \quad (2.12)$$

$$x_{12} + x_7 + x_8 + x_9 \geq 1 \quad (2.13)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j$$

En la función objetivo (2.1) se busca minimizar la cantidad de estaciones de bomberos a construir que cubran el servicio en las 12 comunidades. En las restricciones vemos que además de cubrir la comunidad en donde pueden ser abiertas, estas

también pueden dar servicio a otras comunidades, permitiendo poder cubrir con más de una estación cada comunidad, (2.2) dice que si construimos la estación de bomberos en la comunidad 1, esta cubriría el servicio de las comunidades 2, 3 y 5, (2.3) si se abre la estación en la comunidad 2 puede ofrecer servicio a las comunidades 1 y 5, (2.4) hace referencia al abrir estación en la comunidad 3, es posible dar servicio a las comunidades 1, 4, 5, 6, 7 y 8, (2.5) si la estación es abierta en la comunidad 4, esta puede ofrecer sus servicios a las comunidades 3, 5, 6 y 11, (2.6) nos dice que si se abre una estación en la comunidad 5 esta puede cubrir las comunidades 1, 2, 3, 4, 10 y 11, (2.7) se dice que se construye una estación de bomberos en la comunidad 6, esta cubriría el servicio de las comunidades 3, 4, 8 y 11, (2.8) si la estación se abre en la comunidad 7 sus servicios benefician a las comunidades 3, 8 y 12, (2.9) hace referencia a abrir la estación en la comunidad 8 es posible dar servicio en las comunidades 3, 6, 7, 9, 11 y 12, (2.10) si es abierta la estación en la comunidad 9 puede ofrecer sus servicios a las comunidades 8, 10, 11 y 12, (2.11) nos dice que si abrimos la estación en la comunidad 10, esta cubrirá las comunidades 5, 9 y 11, (2.12) si se construye la estación en la comunidad 11, cubriría los servicios de las comunidades 4, 5, 6, 8, 9 y 10, por último (2.13) nos dice que si se decide construir la estación de bomberos en la comunidad 12, esta puede dar servicio a las comunidades 7, 8 y 9. También se tiene una variable x_j binaria, si toma valor de 1 se abre la estación en la comunidad j , si es 0 esta no se abrirá, esto es para todo $i = 12$ comunidades.

2.3.2 EL PROBLEMA DE EMPAQUETAMIENTO DE CONJUNTOS

En el problema de empaquetamiento de conjuntos (PEC) se tienen que realizar m proyectos divididos en n paquetes. La elección de un paquete implica realizar todos los proyectos del mismo. Se trata de maximizar el beneficio total de manera que cada proyecto i del conjunto de todos los paquetes que lo incluyen no pueda ser elegido más de una vez. c_j es el beneficio de elegir el paquete j , la matriz de pertenencia de cada proyecto i a cada paquete j .

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{si se elige el paquete } j, \\ 0 & \text{en cualquier otro caso.} \end{cases}$$

La formulación del PEC quedaría de la siguiente manera:

$$\text{máx} \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq 1 \quad \forall i$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j$$

Para PEC existen múltiples soluciones factibles, en las cuales los proyectos no pueden pertenecer a más de un conjunto al mismo tiempo, pero si permite la posibilidad de que algún proyecto quede excluido (figura 2.5).

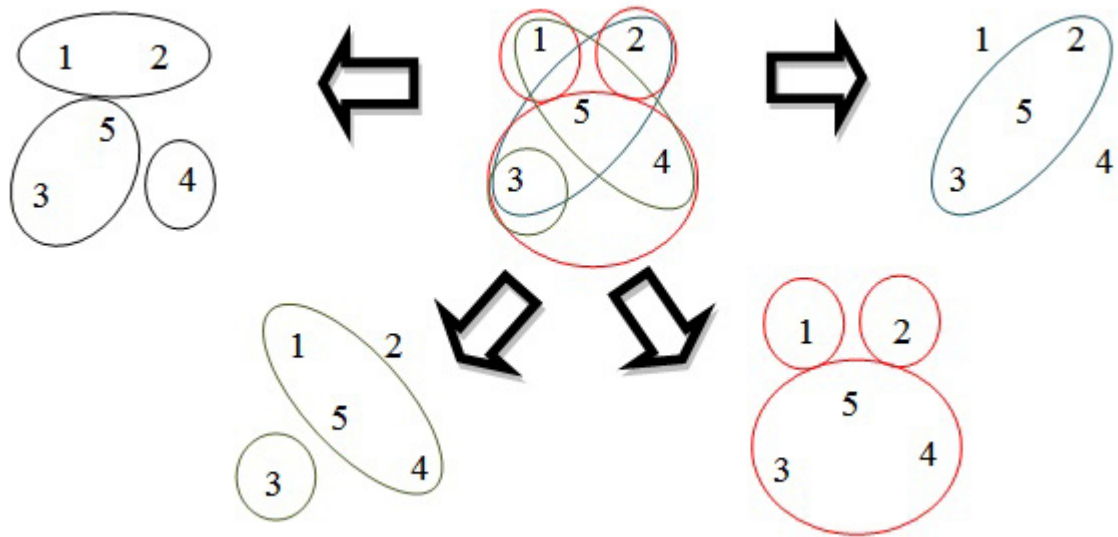


Figura 2.5: Representación gráfica PEC.

Para entender un poco más sobre PEC se plantea el siguiente ejemplo:

Tabla 2.1: Combinación de jugadores

Combinación												
Jugador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	X	X	X				X					
2	X			X	X	X		X	X			
3		X	X	X	X	X				X	X	X
4	X			X			X	X		X	X	
5		X	X		X	X			X	X		X
6			X						X		X	X
Goles promedio	5	6	2	4	3	2	4	5	2	1	3	2

Ejemplo 2 PEC: Un conocido equipo de fútbol tiene establecido en el contrato de 6 jugadores que de llegar a 30 juegos disputados por temporada, recibirían una importante suma de dinero de bonificación. Cada jugador ha participado en 28 juegos y la dirección de finanzas del equipo no está en posibilidades de pagar el dinero. Quedando dos juegos para finalizar la temporada, se le pide al director técnico que elija una combinación de jugadores en los próximos dos juegos sin que cada jugador juegue dos veces tales que se maximice la posibilidad de goles. El asistente del director técnico planteó las diferentes combinaciones de jugadores que se pueden tener y los goles promedio que han tenido estos grupos en las prácticas de la temporada (tabla 2.1).

Las combinaciones atienden a que los jugadores 1, 2 y 3 son delanteros, y los tres restantes volantes. Se puede jugar con dos delanteros y un volante o dos volantes y un delantero. En los casos en los que hay cuatro jugadores, (combinación 3) se debe a que el jugador 6 no se entiende bien con los delanteros 1 y 3 por lo cual necesita la ayuda del volante 5. Adicionalmente el jugador 1 funciona bien con el volante 4 sin necesidad de otro jugador. Diversas alternativas proporcionan la misma cantidad promedio de goles.

Parámetros: c_j : cantidad de goles promedio por combinación i de jugadores

variables:

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{si se elige la combinación } j, \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases}$$

$$\text{mín} \sum_{j=1}^{12} c_j x_j \quad (2.14)$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_7 \leq 1 \quad (2.15)$$

$$x_1 + x_4 + x_5 + x_6 + x_8 + x_9 \leq 1 \quad (2.16)$$

$$x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_{10} + x_{11} + x_{12} \leq 1 \quad (2.17)$$

$$x_1 + x_4 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{11} \leq 1 \quad (2.18)$$

$$x_2 + x_3 + x_5 + x_6 + x_9 + x_{10} + x_{12} \leq 1 \quad (2.19)$$

$$x_3 + x_9 + x_{11} + x_{12} \leq 1 \quad (2.20)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j$$

En la función objetivo (2.14) se busca minimizar la cantidad de goles por partido en los siguientes dos juegos c_j por combinación de jugadores x_j , de acuerdo a las siguientes restricciones en donde el jugador solo podrá jugar un partido a lo mucho, (2.15) dice que el delantero 1 puede ser llamado para jugar en las combinaciones 1, 2, 3 o 7 y no será llamado para otra combinación o en su defecto no ser llamado, (2.16) el delantero 2 tiene la posibilidad de ser llamado para la combinación 1, 4, 5, 6, 8 o 9, o no ser convocado, (2.17) el delantero 3 puede ser llamado para una de las combinaciones 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11 o 12, o caso contrario no ser llamado, (2.18) el volante 4 puede ser convocado para jugar con las combinaciones 1, 4, 7, 8, 10 o 11, o no jugar si no es requerido, (2.19) nos dice que el volante 5 tiene la posibilidad de jugar algunos de los próximos partidos con la combinación 2, 3, 5, 6, 9, 10 o 12, o también no jugar, (2.20) el volante 6 puede o no jugar con la combinación 3, 9, 11 o

12. La restricción de estado nos dice que para todas las variables x_j binarias 1 para seleccionar la combinación y 0 en caso contrario, para todas j .

2.3.3 EL PROBLEMA DE PARTICIONAMIENTO DE CONJUNTOS

La formulación del problema de particionamiento de conjuntos (PPC) es similar a PEC pero en este caso exactamente una característica (proyecto) del conjunto de combinaciones (paquetes) que la contiene debe ser elegida.

$$\begin{aligned} \text{mín} \quad & \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = 1 \quad \forall i \\ & x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \end{aligned}$$

La dificultad de PPC se refleja en la escasez de procedimientos para encontrar soluciones posibles para los mismos. A diferencia de los problemas PCC y PEC, para los que se les conocen posibles soluciones triviales y heurísticas. Esto no ocurre en el caso de PPC cuya estructura resulta más rígida y dificulta el diseño de procedimientos aproximados.

VARIABLES:

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{si se elige el paquete } j, \\ 0 & \text{en cualquier otro caso.} \end{cases}$$

Para este tipo de problemas también existen múltiples soluciones factibles, pero solo un óptimo. Con la diferencia que un proyecto puede pertenecer a un conjunto el mismo (véase figura 2.6).

PPC tiene un sin número de aplicaciones. Algunas de ellas son; programación de tripulación de ferrocarril, las entregas de camiones, programación de la tripula-

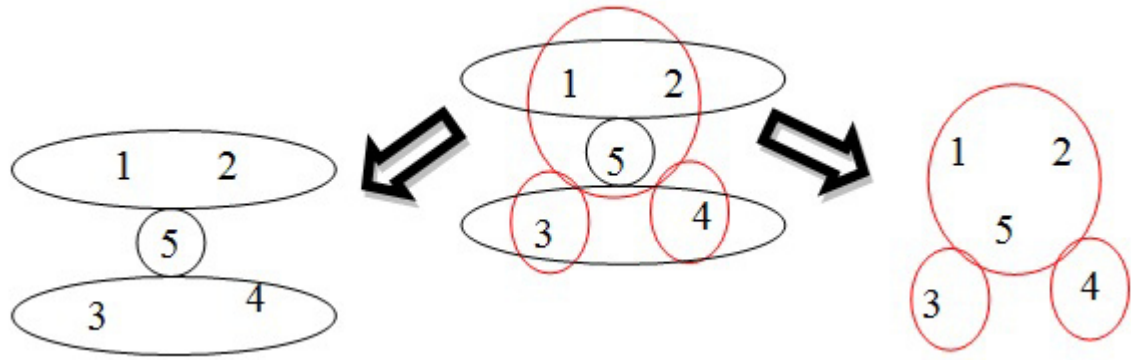


Figura 2.6: Representación gráfica PPC.

ción para una aerolínea, enrutamiento de cisterna, distritación política, recuperación de información, el cambio de diseño de circuitos, balanceo de línea de montaje, la ubicación de las plataformas de perforación mar adentro, algunos problemas de localización de instalación, etc. Siendo el de programación de tripulación de aerolínea uno de los más utilizados para ser resuelto con este tipo de modelo PPC.

Para una explicación más sencilla de este tipo de problemas, plantease el siguiente ejemplo:

Problema 3 PPC: Suponga que una compañía quiere repartir seis pedidos en dos tipos de camiones, pero no todos los pedidos son compatibles con todos los camiones. En la tabla se detallan las compatibilidades de pedidos y camiones, así como el costo de enviar cada viaje (tabla 2.2).

Parámetros: c_j : costo por viaje j .

variables:

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{si se realiza el viaje } j, \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases}$$

$$\text{mín} \sum_{j=1}^5 c_j y_j \quad (2.21)$$

Tabla 2.2: Pedidos y viajes

Pedidos	Viajes				
	Camión 1			Camión 2	
	1	2	3	4	5
1	X			X	
2	X	X			
3		X			X
4	X		X		
5			X		X
6				X	X
Costo por viaje	5	3	4	1	4

$$y_1 + y_4 = 1 \quad (2.22)$$

$$y_1 + y_2 = 1 \quad (2.23)$$

$$y_2 + y_5 = 1 \quad (2.24)$$

$$y_1 + y_3 = 1 \quad (2.25)$$

$$y_3 + y_5 = 1 \quad (2.26)$$

$$y_4 + y_5 = 1 \quad (2.27)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j$$

En la función objetivo (2.21) se pretende minimizar el costo de enviar todos los pedidos, las restricciones nos dicen que cada uno de los pedidos solo puede ser enviado en un solo camión, (2.22) se refiere a que el pedido 1 puede ir en el camión 1 o 4, (2.23) el pedido 2 se puede enviar ya sea en el camión 1 o 2, (2.24) el pedido 3 puede enviarse en el camión 2 o 5, (2.25) nos dice que el pedido 4 es posible enviarlo en el camión 1 o 3, (2.26) para el pedido 5 puede seleccionarse el camión 3 o el camión 5, (2.27) existe la opción de enviar el pedido 6 en los camiones 4 o 5. Las

restricciones de estado explican que las variables y_j son del tipo binaria, si toman el valor de 1 el viaje será realizado y 0 si no, para todo $j = 5$ viajes.

2.3.4 DIFERENCIAS Y SIMILITUDES ENTRE LOS MODELOS DE RECUBRIMIENTO PCC, PEC Y PCC

Por pertenecer al mismo tipo de modelos, existen muchas similitudes de formulación entre estos tres problemas, por lo que es importante definir cuáles son las diferencias que podemos encontrar entre ellos y de esta manera seleccionar alguno en cual basarnos para poder llevar a cabo nuestro objetivo de investigación en cual se busca minimizar la agrupación de conjuntos de proyectos.

Para hacer esto un poco mas sencillo se realizó la tabla 2.3 en la cual se muestran las características que podemos comparar entre los tres modelos PCC, PEC y PCC, con la finalidad de obtener los argumentos necesarios para lograr seleccionar el que mejor se adapte a las necesidades requeridas para el proyecto de investigación.

Tomando en consideración estos criterios el problema que más se adapta a las necesidades de que surgen de acuerdo al objetivo de la investigación es el PCC porque permite la agrupación de conjuntos aun cuando un proyecto pueda quedar solo en un conjunto, permitiendo minimizar la cantidad de conjuntos. Esto para que un modelo sea óptimo, es decir, que las propiedades que se tomarán a consideración como alternativas de decisión son mejores que cualquier, siempre con el objetivo de encontrar el valor óptimo de las variables de la función objetivo y que las mismas satisfagan todas las restricciones que se deben considerar.

Tabla 2.3: Diferencias y similitudes entre PCC, PEC y PCC

Diferencias y similitudes entre PCC, PEC y PCC		
Problema de cobertura de conjuntos (PCC)	Problema de empaquetamiento de conjuntos (PEC)	Problema de particionamiento de conjuntos (PPC)
Minimizar costo.	Maximizar el beneficio total sin que exista un solape.	Minimizar el costo de agrupación.
No importa que un proyecto esté en dos conjuntos.	Ningún proyecto se realice más de una vez.	Cada proyecto este dentro de un subconjunto y solo en un subconjunto.
Las combinaciones elegidas deben cubrirse al menos una vez.	No importa que un subconjunto no se realice.	Deben cubrirse todos los proyectos.
$Ax \geq 1$	$Ax \leq 1$	$Ax = 1$

2.3.5 MÉTODOS DE SOLUCIÓN PARA PPC

Para resolver problemas enteros, es notable que la dificultad de los mismos radique en las variables que intervienen en este tipo de problemas, porque aunque sus posibles soluciones sean finitas, pueden variar de forma exponencialmente por las variables que se toman en consideración, esto vuelve que la eficiencia computacional algo pobre. Cuando un objetivo es el que está siendo tratado una forma de encontrar una solución aceptable es utilizando algunas heurísticas que permiten tener resultados aceptables en un buen tiempo computacional, ya que las heurísticas ayudan encontrar soluciones factibles que se acercan al óptimo, pero con un menor tiempo de respuesta. Existen trabajos donde se desarrollan algunos métodos que ayuden a resolverlos, estos pueden enfocarse desde un punto de vista algorítmica, en la cual se analiza la heurística de PPC, programación disyuntiva, relajaciones surrogadas, lagrangianas y un método de refuerzo dual, para mayor interés consultar [17], otros autores desarrollan métodos de planos secantes y optimización subgradiente [5], también hay estudios sobre métodos duales y algoritmos híbridos [6]. De acuerdo con la literatura encontrada uno de los métodos de solución más utilizado para PPC son los algoritmos genéticos [24], otros autores como Chu and Beasley [11] utilizan metaheurísticas. En cambio para problemas con multiobjetivos también existen algunos trabajos desarrollados [8].

En situaciones reales PPC puede ser utilizado para resolver la programación de: horarios de exámenes, horarios de competiciones de atletismo, horarios de clases, etcétera. Se busca por lo general que estos eventos no se lleven al mismo tiempo y también podría ser que asegure el menor tiempo de duración total, estos pertenecen a los problemas de grafos [17].

Para problemas de itinerarios de vehículos, puede comprender situaciones reales de tipo: recogida de cartas de buzones, los recorridos de autobuses escolares, los recorridos de las camionetas de lavanderías, las visitas a domicilio para efectuar las lecturas de gas, etcétera [17].

También para problema de asignación de tripulaciones y todo tipo de compañías de transporte público, de tal forma que se tomen los convenios sindicales y que la carga de trabajo sea igual para cada persona que se encuentre dentro del mismo rango o categoría, con la finalidad de obtener el mayor rendimiento, entre otros [17].

CAPÍTULO 3

MODELO MATEMÁTICO PROPUESTO

En el capítulo a continuación escrito, se describirán los criterios que han sido utilizados para la modelación del problema, basado en PPC, se definirán cada una de las partes que componen el modelo y la forma en que se tomarán las variables y restricciones para la toma de decisión. Con esta información se propondrá un modelo matemático que cumpla con todos los requerimientos, y que se espera arroje los resultados óptimos.

Como bien se ha comentado anteriormente, todos los productos que se pretenden comercializar en México tienen que cumplir obligatoriamente por el proceso de certificación descrito en el capítulo dos, de acuerdo a los estudios realizados es factible utilizar como base el PPC para optimizar la parte de la asignación de producto a familias dentro del proceso de certificación de acuerdo al tipo de producto y características requeridas [9]. De acuerdo con ANCE, se tomarán en consideración las normas en función a las características de los productos que se necesitan para emitir un certificado, con esta información podemos tomar los datos necesarios para ajustar al modelo, como primer caso se tomará un producto de hogar que funciona para iluminar zonas específicas, es decir, lo que conocemos como lámparas, la normatividad que aplica para este tipo de productos es la NOM-003-SCFI-2000 (este documento, así como todas las normas que ANCE maneja, pueden descargarse en el sitio web: <https://www.ance.org.mx/>) referente a «Productos eléctricos-Especificaciones de

seguridad» en la página once del documento de esta norma se describen los criterios para la agrupación de familias de luminarios, en otras palabras, las consideraciones que necesitamos para poder agrupar los productos en familias. Para que varios productos puedan ser considerados en una familia tendrán que cumplir con los siguientes requisitos:

1. Deberán tener el mismo tipo de aplicación. Mesa o escritorio, pie o pedestal, fijo, de emergencia.
2. Deberán ser del mismo tipo y material de portalámparas. Este se puede clasificar por nombre (Mogul, Admedium, etcétera) o por designación (E-23, E-29, etcétera), y se combina con los materiales comunes (metálico, cerámico, baquelita, etcétera).
3. Deberán utilizar el mismo tipo de lámpara. Incandescente, halógeno o fluorescente.
4. Las clavijas e interruptores empleados deberán ser del mismo tipo de material.
5. Los luminarios deberán tener el mismo principio de funcionamiento, trabajar a la misma frecuencia de operación y tener el mismo diagrama eléctrico. Es decir: potencia (desde 60 w hasta la cantidad máxima total de la potencia de sus bombillos), tensión (127 v o 220 v).
6. Los luminarios deberán ser fabricados en la misma fábrica.

Para explicar de una forma más sencilla como podría ser una familia se da el siguiente ejemplo de agrupación; todos los productos que entre sus características tengan «del tipo de aplicación fijo, con una corriente eléctrica de 127 v, una potencia de 60 w y el tipo de material del portalámparas es E26 plástico» podrán pertenecer a la misma familia, y el proceso de certificación será el mismo para todos ellos, tomando como cabeza de familia el producto más propenso a fallar, el cual se tomarán como muestras tres artículos de este producto y se le realizarán pruebas, si este producto

cabeza de familia pasa las pruebas, todos los demás productos de la misma familia no será necesario realizar las mismas pruebas, a menos que el ONN lo crea necesario.

Con la información anterior podemos declarar los parámetros de conjuntos:

I : Conjunto de tipo de productos; $i \in \{1, 2, \dots, m.\}$

J : Conjunto de características referentes a tipo de aplicación; $j \in \{1, 2, 3, \dots p.\}$

K : Conjunto de características referentes a tipo de material; $k \in \{1, 2, 3, \dots q.\}$

L : Conjunto de características referentes a potencia; $l \in \{1, 2, \dots r.\}$

N : Conjunto de características referentes a tensión; $n \in \{1, 2, \dots s.\}$

Puede tener tantos conjuntos sean necesarios en comparación a la características que se deben de tener para pertenecer a una familia de acuerdo a la norma a la que se está aplicando, por otra parte para agrupar los productos a una familia, no es necesario tomar todos los datos de los productos en el modelo, si estos son los mismos para todos, en este caso se puede omitir ese conjunto, digamos por ejemplo, el conjunto de las luminarios deben ser fabricados en la misma fábrica, en los casos proporcionados no utilizó esta información porque todas las lámparas fueron hechas en la misma fábrica, otro ejemplo, en dos de los tres casos se omitió el conjunto de tensión porque tenían el mismo valor todos los productos que se analizaban en esos casos.

Para el modelo también se declaran los siguientes parámetros:

a_{ij} : Si el producto i es asignado a la característica j .

b_{ik} : Si el producto i es asignado a la característica k .

d_{il} : Si el producto i es asignado a la característica l .

e_{in} : Si el producto i es asignado a la característica n .

Podemos decir que la cantidad de parámetros dependen de la cantidad de conjuntos que se están tomando a consideración.

Con la información anterior podemos definir las variables, para este modelo basado en PPC se decidió utilizar dos variables del tipo binario, x_{ijkln} para elegir si serán utilizados los parámetros del producto y otra y_{jklm} para elegir esos parámetros como familia, quedaría de la siguiente manera:

$$x_{ijklm} = \begin{cases} 1 & \text{Si se elige el producto } i \text{ con las características } j, k, l, m, \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases}$$

$$y_{jklm} = \begin{cases} 1 & \text{Si se eligen las características } jklm \text{ como familia.} \\ 0 & \text{si no.} \end{cases}$$

Después de haber definido los parámetros que serán utilizados en el modelo, así como las variables que se van a considerar, de igual forma la información relacionada con ellos. Con esto es posible diseñar y plantear el modelo que pueda cumplir con los lineamientos necesarios para agrupar los productos en la menor cantidad de familias, en base a las características que debe reunir el PPC, este debe estar compuesto con una función objetivo que nos diga que las familias deberán ser optimizadas, a su vez, debe contar con las restricciones propias del modelo que logre particionar el total de productos en familias.

Por lo que el modelo propuesto basado en PPC que cumple con las características antes descritas y que logran cumplir con el objetivo de la investigación quedaría de la siguiente manera:

$$\text{mín} \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q \sum_{l=1}^r \sum_{n=1}^s y_{jklm} \quad (3.1)$$

$$\sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^q \sum_{l=1}^r \sum_{n=1}^s a_{ij} b_{ik} d_{il} e_{in} x_{ijkln} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.2)$$

$$x_{ijkln} \leq y_{jkl n} \quad (3.3)$$

$$x_{ijkln} \in \{0, 1\} \forall i, j, k, l, n \quad (3.4)$$

$$y_{jkl n} \in \{0, 1\} \forall j, k, l, n \quad (3.5)$$

En donde (3.1) representa la función objetivo, y la cual minimiza la cantidad de familias de los productos con características similares. En comparación con el modelo estándar de PPC, aquí se ha eliminado el parámetro de costos, esto se debe, a que no existe una diferencia de costo si el producto pertenece a una familia u otra, ya que el certificado al formar parte de la misma norma, no varía en los precios de la certificación. En cuestión de las restricciones (3.2) nos dice que si se tomarán los parámetros j, k, l, n del producto i como conjunto de variables y que este solo puede pertenecer a una sola agrupación para todos los productos que pertenecen al conjunto I , con esta restricción también estamos creando las familias, (3.3) son las restricciones inclusivas que asocian una familia $jkl n$ con el producto i , y por último (3.4) y (3.5) nos dicen que nuestras variables son del tipo binario, donde puede tomar valores ya sea de 1 o de 0.

El modelo anterior esta adaptado a los criterios para la agrupación de familias de luminarios de acuerdo a la NOM-003-SCFI-2000. Lo interesante de este modelo es su fácil adaptabilidad para la agrupación de familias de acuerdo las normas de los ONN para cualquier conjunto de productos que se permita agrupar para la emisión de certificados, para adaptar este modelo a cualquier otra norma es necesario realizar un proceso similar al de luminarios, por ejemplo en la misma norma NOM-003-SCFI-2000 vienen los criterios para agrupar familias de calentadores de agua eléctricos, congeladores, estufas eléctricas, etcétera.

CAPÍTULO 4

EXPERIMENTACIÓN COMPUTACIONAL

Para que un modelo pueda llevarse a la implementación, es necesario tener un método de solución que pueda resolverlo, para solucionar estos existen diferentes formas de hacerlo, por ejemplo heurísticas que si bien no dan el resultado exacto por la complejidad del modelo PCC podrían arrojar una solución factible cercana al óptimo, por otra parte, con los avances en tecnología actual y la rapidez de procesamiento de datos que nos dan las computadoras, podemos usar programas de computación que puede solucionar problemas de programación entera en un tiempo muy bueno, claro dependiendo de la complejidad del modelo, la cantidad y la forma en que se manejan los datos, y por supuesto de la robustez del equipo a utilizar.

4.1 EQUIPO Y PROGRAMA DE SOLUCIÓN

El software empleado fue el *GAMS* (*General Algebraic Modeling System*) que es un sistema de alto nivel de modelación utilizado para solucionar optimización matemática. El sistema GAMS está diseñado para modelar y resolver problemas a gran escala de optimización lineal, no lineal y optimización entera mixta. Está compuesto de un compilador y un solver estable de alto rendimiento. GAMS tiene la capacidad de adaptarse para aplicaciones complejas y modelado a gran escala con la funcionalidad de adaptarse rápidamente a nuevas situaciones [18].

Para resolver los casos prueba GAMS fue utilizado con CPLEX versión 12, y se corrió en una computadora intel Xeon E5-2697v2 2.7GHz con 12 cores cada uno, una memoria ram de al menos 64 Gb, y disco duro de 1 Tb, es por eso que fue seleccionado el servidor DELL PoweEdge T620. Este equipo pertenece al posgrado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

4.2 INSTANCIAS REALES

Las empresas pueden realizar el proceso de certificación o pueden acudir a empresas como CertyLab de Monterrey [10], se menciona esta empresa porque proporcionó algunos de los casos que serán probados con el modelo propuesto, los cuales serán comparados entre sí. El ONN en el que nos basamos para los agrupar los productos por familias es ANCE [1] por los tipos de productos que fueron utilizados en los casos prueba y la facilidad que presta en los criterios para realizar las agrupaciones de acuerdo a la norma que se desea aplicar.

Certylab proporcionó cinco casos para la experimentación, los tres primeros casos fueron luminarios que aplican a la NOM-003-SCFI-2000 y se tomaron en consideración los siguientes criterios para la agrupación de los productos.

4.2.1 CASO 1

Para el primer caso de luminosos los conjuntos quedarían de la siguiente forma:

I: Conjunto de tipo productos luminosos (lámparas); $i \in \{1, \dots, 50\}$

J: Conjunto tipo de aplicación; $j \in \{1 \text{ (fijo)}, 2 \text{ (mesa)}, 3 \text{ (pie)}\}$

K: Conjunto tipo y material de portalámparas; $k \in \{1 \text{ (E26 metálico)}, 2 \text{ (E26 cerámico)}, 3 \text{ (E26 fenólico)}, 4 \text{ (E26 plástico)}\}$

L : Conjunto de características referentes a potencia; $l \in \{1 (100 \text{ w}), 2 (60 \text{ w}), 3 (80 \text{ w})\}$

N : Conjunto de características referentes a tensión $n \in \{1 (127 \text{ v}), 2 (220 \text{ v})\}$

Con los parámetros siguientes:

a_{ij} : Si el producto i es asignado a la característica j .

b_{ik} : Si el producto i es asignado a la característica k .

d_{il} : Si el producto i es asignado a la característica l .

e_{in} : Si el producto i es asignado a la característica n .

El modelo matemático para este caso quedaría de esta forma:

$$\text{mín} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 \sum_{l=1}^3 \sum_{n=1}^2 y_{jkl n}$$

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^4 \sum_{l=1}^3 \sum_{n=1}^2 a_{ij} b_{ik} d_{il} e_{in} x_{ijkl n} = 1 \quad \forall i \in I$$

$$x_{ijkl n} \leq y_{jkl n}$$

$$x_{ijkl n} \in \{0, 1\} \forall i, j, k, l, n$$

$$y_{jkl n} \in \{0, 1\} \forall j, k, l, n$$

El tiempo de solución para este caso es de 0.03 segundos computacionales comparados con los 3 días que tardó la empresa con el proceso actual. La cantidad de familias propuestas al igual que la cantidad que registra la empresa es de 4.

4.2.2 CASO 2

Para el segundo caso de luminosos los conjuntos son:

I: Conjunto de tipo de productos luminosos (lámparas); $i \in \{1, \dots, 1573\}$

J: Conjunto tipo de aplicación; $j \in \{1 \text{ (fijo)}, 2 \text{ (mesa)}, 3 \text{ (pie)}\}$

K: Conjunto tipo y material de portalámparas; $k \in \{1 \text{ (cerámico)}, 2 \text{ (cristal)}, 3 \text{ (tela)}, 4 \text{ (metálico)}, 5 \text{ (resina)}\}$

L: Conjunto de características referentes a potencia; $l \in \{1 \text{ (60 w)}, 2 \text{ (120 w)}, 3 \text{ (180 w)}, 4 \text{ (240 w)}, 5 \text{ (300 w)}, 6 \text{ (360 w)}, 7 \text{ (420 w)}, 8 \text{ (480 w)}, 9 \text{ (540 w)}, 10 \text{ (600 w)}, 11 \text{ (660 w)}, 12 \text{ (720 w)}, 13 \text{ (780 w)}, 14 \text{ (840 w)}, 15 \text{ (900 w)}, 16 \text{ (960 w)}, 17 \text{ (1020 w)}\}$

Parámetros:

a_{ij} : Si el producto i es asignado a la característica j .

b_{ik} : Si el producto i es asignado a la característica k .

d_{il} : Si el producto i es asignado a la característica l .

El modelo matemático para este caso quedaría de esta forma:

$$\text{mín} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 \sum_{l=1}^{17} y_{jkl}$$

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^5 \sum_{l=1}^{17} a_{ij} b_{ik} d_{il} x_{ijkl} = 1 \quad \forall i \in I$$

$$x_{ijkl} \leq y_{jkl}$$

$$x_{ijkl} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k, l$$

$$y_{jkl} \in \{0, 1\} \forall j, k, l$$

El tiempo de solución para el caso 2 es de 3.29 segundos computacionales comparados con el proceso actual que es de 10 días para este caso. La cantidad de familias se mantiene en la misma cantidad de 5 diferentes agrupaciones de productos.

4.2.3 CASO 3

Para el tercer caso de luminosos los conjuntos son:

I: Conjunto de tipo de productos luminosos (lámparas); $i \in \{1, \dots, 3267\}$

J: Conjunto tipo de aplicación; $j \in \{1 \text{ (fijo)}, 2 \text{ (mesa)}, 3 \text{ (pie)}\}$

K: Conjunto tipo y material de portalámparas; $k \in \{1 \text{ (E26 metálico)}, 2 \text{ (E26 cerámico)}, 3 \text{ (E26 fenólico)}, 4 \text{ (E12 plástico)}, 5 \text{ (E12 cerámico)}, 6 \text{ (E12 fenólico)}\}$

L: Conjunto de características referentes a potencia; $l \in \{1 \text{ (60 w)}, 2 \text{ (120 w)}, 3 \text{ (180 w)}, 4 \text{ (240 w)}, 5 \text{ (300 w)}, 6 \text{ (360 w)}, 7 \text{ (420 w)}, 8 \text{ (480 w)}, 9 \text{ (540 w)}, 10 \text{ (600 w)}, 11 \text{ (660 w)}, 12 \text{ (720 w)}, 13 \text{ (780 w)}, 14 \text{ (840 w)}, 15 \text{ (900 w)}, 16 \text{ (960 w)}, 17 \text{ (1020 w)}, 18 \text{ (1080 w)}, 19 \text{ (1140 w)}, 20 \text{ (1200 w)}, 21 \text{ (1260 w)}, 22 \text{ (1320 w)}, 23 \text{ (1380 w)}, 24 \text{ (1440 w)}, 25 \text{ (1500 w)}, 26 \text{ (1560 w)}, 27 \text{ (1620 w)}\}$

Parámetros:

a_{ij} : Si el producto i es asignado a la característica j .

b_{ik} : Si el producto i es asignado a la característica k .

d_{il} : Si el producto i es asignado a la característica l .

El modelo matemático para este caso quedaría de esta forma:

$$\text{mín} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^6 \sum_{l=1}^{27} y_{jkl}$$

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^6 \sum_{l=1}^{27} a_{ij} b_{ik} d_{il} x_{ijkl} = 1 \quad \forall i \in I$$

$$x_{ijkl} \leq y_{jkl}$$

$$x_{ijkl} \in \{0, 1\} \forall i, j, k, l$$

$$y_{jkl} \in \{0, 1\} \forall j, k, l$$

El tiempo de solución para este caso es de 5.69 segundos computacionales comparados con los 15 días que el proceso actual tarda. La cantidad de familias se mantiene en la misma cantidad de 14 diferentes agrupaciones de productos que registra la empresa.

Analizando la información de estos tres casos, se puede observar una variación en los conjuntos que tienen diferentes características, o simplemente porque en algunos conjuntos no se tomaron en cuenta valores por ser del mismo tipo, véase el conjunto N referente a la tensión, no se tomó en cuenta para los casos dos y tres por ser todos del mismo voltaje), Se hace referencia a este dato para resaltar la capacidad del modelo de adaptarse a los criterios que sean necesarios, esto permite agilizar la agrupación y por consecuencia consumir una menor cantidad de recursos computacionales, esto refleja un menor tiempo de solución del modelo en comparación a utilizar todos los criterios de agrupación aun cuando estos no son necesarios para un grupo de productos.

Para demostrar la adaptabilidad del modelo propuesto, se tomó otro grupo de productos «refrigeradores con congelador» que aplica a la NOM-003-SCFI-2000, misma de luminosos, pero que toma en consideración otros criterios para la agrupación.

4.2.4 CASO 4

El cuarto caso referente a refrigeradores con congelador quedaría de esta forma:

I : Conjunto de tipo de productos refrigeradores; $i \in \{1, \dots, 66\}$

J : Conjunto referente a tipo de control; $j \in \{1 \text{ (manual)}, 2 \text{ (touch display electrónico)}, 3 \text{ (display LCD)}, 4 \text{ (display LED)}\}$

K : Conjunto referente a potencia; $k \in \{1 \text{ (312 KWh)}, 2 \text{ (329 KWh)}\}$

L : Conjunto referente a tensión $l \in \{1 \text{ (127 v)}, 2 \text{ (220 v)}\}$

N : Conjunto de material del gabinete $n \in \{1 \text{ (acero inoxidable)}, 2 \text{ (metálico)}, 3 \text{ (plástico)}\}$

P : Conjunto de tipo deshielo $p \in \{1 \text{ (manual)}, 2 \text{ (semiautomático)}, 3 \text{ (automático)}\}$

Con los parámetros siguientes:

a_{ij} : Si el producto i es asignado a la característica j .

b_{ik} : Si el producto i es asignado a la característica k .

d_{il} : Si el producto i es asignado a la característica l .

e_{in} : Si el producto i es asignado a la característica n .

f_{ip} : Si el producto i es asignado a la característica p .

El modelo matemático para este caso quedaría de esta forma:

$$\text{mín} \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{n=1}^3 \sum_{p=1}^3 y_{jklnp}$$

$$\sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{n=1}^3 \sum_{p=1}^3 a_{ij} b_{ik} d_{il} e_{in} f_{ip} x_{ijklnp} = 1 \quad \forall i \in I$$

$$x_{ijklnp} \leq y_{ijklnp}$$

$$x_{ijklnp} \in \{0, 1\} \forall i, j, k, l, n, p$$

$$y_{ijklnp} \in \{0, 1\} \forall j, k, l, n, p$$

Para este caso se obtiene un tiempo de solución de 0.109 segundos computacionales y un total de 4 familias.

4.2.5 CASO 5

Para el quinto caso se agruparon estufas y hornos de gas basando los parámetros para la NOM-019-SEDG-2002:

I: Conjunto de tipo de estufas; $i \in \{1, \dots, 27\}$

J: Conjunto referente a tipo de aplicación; $j \in \{1$ (estufa piso), 2 (estufa empotrar), 3 (parrilla abierta), 4 (parrilla sobreponer), 5 (parrilla con gabinete), 6 (parrilla para empotrar), 7 (horno para empotrar o sobreponer), 8 (horno parrilla para empotrar o sobreponer), 9 (asador-horno para empotrar o sobreponer), 10 (horno-asador-parrilla para empotrar o sobreponer), 11 (asador para empotrar o sobreponer), 12 (asador abierto para empotrar o sobreponer), 13 (asador-parrilla para empotrar o sobreponer)}

K: Conjunto referente a cantidad de quemadores; $k \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ quemadores}

L: Conjunto referente a características eléctricas, voltaje y tensión; $l \in \{1$ (127 v / 0-1.5 a), 2 (127 v / 13.5 a), 3 (127 v / 30 a), 4 (220 v / 0-1.5 a), 5 (220 v / 15 a), 6 (220 v / 18 a), 7 (220 v / 30 a)}

N : Conjunto referente a sistema de cocción; $n \in \{1 \text{ (gas)}, 2 \text{ (híbrido)}\}$

P : Conjunto de tipo de encendido; $p \in \{1 \text{ (piloto)}, 2 \text{ (eléctrico, electrónico o manual)}\}$

Q : Conjunto de tamaño de estufa; $q \in \{1 \text{ (10")}, 2 \text{ (20")}, 3 \text{ (30")}, 4 \text{ (40")}, 5 \text{ (50")}, 6 \text{ (60")}, 7 \text{ (NA, no es una estufa)}\}$

R : Conjunto de estufa con horno; $r \in \{1 \text{ (con asador)}, 2 \text{ (sin asador)}, 3 \text{ (NA, la estufa no tiene horno)}\}$

Con los parámetros siguientes:

a_{ij} : Si el producto i es asignado a la característica j .

b_{ik} : Si el producto i es asignado a la característica k .

d_{il} : Si el producto i es asignado a la característica l .

e_{in} : Si el producto i es asignado a la característica n .

f_{ip} : Si el producto i es asignado a la característica p .

g_{iq} : Si el producto i es asignado a la característica q .

h_{ir} : Si el producto i es asignado a la característica r .

El modelo matemático para este caso quedaría de esta forma:

$$\text{mín} \sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^9 \sum_{l=1}^7 \sum_{n=1}^2 \sum_{p=1}^2 \sum_{q=1}^6 \sum_{r=1}^3 y_{jklmpqr}$$

$$\sum_{j=1}^{13} \sum_{k=1}^9 \sum_{l=1}^7 \sum_{n=1}^2 \sum_{p=1}^2 \sum_{q=1}^6 \sum_{r=1}^3 a_{ij} b_{ik} d_{il} e_{in} f_{ip} g_{iq} h_{ir} x_{ijklmpqr} = 1 \quad \forall i \in I$$

$$x_{ijklmpqr} \leq y_{ijklmpqr}$$

$$x_{ijklmp} \in \{0, 1\} \forall i, j, k, l, n, p, q, r$$

Tabla 4.1: Resultados casos 1,2 y 3

Resultados de la experimentación computacional					
Caso	Productos	Familias actual	Familias propuesta	Tiempo actual	Tiempo propuesto
1	50	4	4	3 días	0.03 secs.
2	1573	5	5	10 días	3.29 secs.
3	3267	17	17	15 días	5.69 secs.

$$y_{jklop} \in \{0, 1\} \forall j, k, l, n, p, q, r$$

El tiempo de solución para el caso 5 es de 4.5 segundos computacionales y un total de 18 familias.

Haciendo un recopilatorio de los casos anteriores, los resultados que se obtuvieron al correr los tres primeros casos en *GAMS* se detallan en la tabla 4.1, en donde la primera columna al igual que en la anterior es el caso que se llevó a experimentación, en la segunda columna se representa la cantidad de productos que se van a agrupar, en la tercera columna se refiere a la cantidad de familias que se crearon con el proceso actual utilizado por la compañía que proporciona los casos, si bien recordamos este proceso es empírico y depende del conocimiento y capacidad de la persona que realiza esta función, en la cuarta columna son los resultados que nos dio el *software* de acuerdo a la cantidad de familias que resultaron con el modelo propuesto, la quinta columna detalla el tiempo que se tardó en asignar cada producto a cada familia de acuerdo con el proceso actual, y por último, en la sexta columna son los tiempos en ejecución que tarda el *software* con el modelo propuesto en agrupar familias en familias el total de productos por cada caso estudiado.

Haciendo un comparativo de estos primeros tres casos, el *software* arroja la misma cantidad de familias donde fueron agrupados los productos, la diferencia que por cierto es muy relevante, es el tiempo total de ejecución del *software*, ya que se

Tabla 4.2: Resultados casos 3 y 4

Casos	Productos	Familias	Tiempo
4	66	4	0.109 secs.
5	27	18	4.5 secs.

observa una gran diferencia en comparación al proceso que se utiliza en la actualidad, pasando de tener una duración de tres, diez y 15 días a simplemente unos cuantos segundos computacionales. Este tiempo de respuesta ayuda agilizar el proceso y le da un margen de toma de decisiones a los encargados de la cadena de suministro porque al disminuir este tiempo, disminuye el tiempo general del proceso de certificación, con esto, si es necesario hacer algún cambio en los productos se puede realizar con una mayor anticipación ya sean durante el transporte de los mismo o cuando estos están en proceso de manufactura, ya que se puede cambiar directamente en el diseño general del producto. Normalmente el proceso de certificación se realiza con una semana de anticipación, que es el tiempo en que tarda en llegar los productos al país.

Para los casos cuatro y cinco los tiempos de solución al igual que los primeros tres, son muy rapidos, los resultados se muestran en la tabla 4.2, en estos casos se hace énfasis en utilizar diferentes productos como son los refrigeradores y las estufas, y no solo luminarias, esto con el fin de aplicar el modelo a diferentes productos y normas, demostrando con éxito la adaptabilidad del mismo. Con estos primeros cinco casos se observó que la solución aunque tenía tiempos de solución buenos, se observó que se volvía más complejo aumentando la cantidad de características y la cantidad de productos.

4.3 CASOS GENERADOS

Como se menciona en la sección anterior al analizar estos primeros cinco casos, se observó que la complejidad del modelo aumentaba de acuerdo a la cantidad de productos que se están analizando así como la cantidad de características o conjunto de parámetros que se toman a consideración, especialmente en el caso de las estufas el tiempo ejecución aumentó considerablemente por lo que se decidió realizar una experimentación con casos ficticios para ver el comportamiento y capacidad del equipo y modelo.

Esta experimentación consiste en analizar treinta y cinco casos más en los cuales cinco cantidades de productos se tomaron en consideración «50, 100, 150, 200 y 250», y siete características como conjuntos de selección «3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 características a seleccionar (tabla 4.3)».

Estos casos mostraron datos muy interesantes, y al tener 8 características el equipo excedió el tiempo de solución, por lo cual, se analizaron catorce casos más, para identificar la cantidad de productos que puede soportar el modelo (tabla 4.2) con 7 características.

4.4 ANÁLISIS DE LOS CASOS GENERADOS

Los resultados que se muestran en la tabla 4.5 son los resultados obtenidos que relacionan la cantidad de conjuntos o características que puede soportar sin ningún contratiempo con los recursos actuales. A partir del caso 31 el tiempo de solución fue sobrepasado, razón por la cual este caso y los consecuentes hasta el caso 40 están marcados con un asterisco, por otra parte, la experimentación parece mostrar que la complejidad de solución del modelo se comporta de una forma lineal por los resultados que se obtienen en los casos 6 hasta el 22, después de esto los resultados empiezan a cambiar comportándose de una forma diferente, el tiempo de solución

Tabla 4.3: Casos con diferentes cantidades de productos y características

Caso	Productos	Características		Caso	Productos	Características
6	50	3		24	200	6
7	100	3		25	250	6
8	150	3		26	50	7
9	200	3		27	100	7
10	250	3		28	150	7
11	50	4		29	200	7
12	100	4		30	250	7
13	150	4		31	50	8
14	200	4		32	100	8
15	250	4		33	150	8
16	50	5		34	200	8
17	100	5		35	250	8
18	150	5		36	50	9
19	200	5		37	100	9
20	250	5		38	150	9
21	50	6		39	200	9
22	100	6		40	250	9
23	150	6				

Tabla 4.4: Casos con diferentes cantidades de productos

Caso	Productos	Características
41	400	7
42	600	7
43	800	7
44	1000	7
45	1200	7
46	1400	7
47	1600	7
48	1800	7
49	2000	7
50	2200	7
51	2400	7
52	2600	7
53	2800	7
54	3000	7

Tabla 4.5: Resultados casos

Casos	Tiempo	Casos	Tiempo	Casos	Tiempo
6	0.765 secs	18	4.618 secs	30	2752.981 secs
7	0.468 secs	19	6.022 secs	31	*
8	0.483 secs	20	7.956 secs	32	*
9	0.561 secs	21	8.143 secs	33	*
10	0.609 secs	22	13.915 secs	34	*
11	0.671 secs	23	20.561 secs	35	*
12	0.951 secs	24	28.376 secs	36	*
13	1.264 secs	25	35.335 secs	37	*
14	1.591 secs	26	35.365 secs	38	*
15	1.935 secs	27	72.104 secs	39	*
16	2.122 secs	28	488.673 secs	40	*
17	3.588 secs	29	963.743 secs		

*El tiempo de solución fue excedido.

aumenta considerablemente a partir del caso 22 porque la cantidad de combinaciones que se realizaron obliga a consumir una cantidad mayor de recursos del equipo para obtener las soluciones, el tiempo de solución se vuelve de crecimiento exponencial comparando un caso con su consecutivo, entre los casos 25 y 26 la diferencia en el tiempo de solución es mínima, se asume que las combinaciones creadas por el modelo son muy parecidas entre sí y que los recursos utilizados son por consecuencia similares.

En la tabla 4.6 se hace el análisis de los casos 41 al 54 enfocados en el aumento de la cantidad de los productos en conjuntos de 200 para saber cuál es la combinación que el tiempo de solución también fuera excedido, el caso 41 está dentro del tiempo de solución, sin embargo el caso 42 marcado en la tabla con un asterisco excede dicho tiempo. Los siguientes casos hasta el 54 también sobrepasaron el tiempo de solución.

Tabla 4.6: Resultados casos

Casos	Tiempo	Casos	Tiempo
41	15,320.765 secs	48	*
42	*	49	*
43	*	50	*
44	*	51	*
45	*	52	*
46	*	53	*
47	*	54	*

*El tiempo de solución fue excedido.

Con la información anterior podemos decir que el modelo puede correr en el equipo descrito en la sección 4.1, hasta 7 características o conjuntos y una combinación de hasta 400 productos. El tiempo de solución con el modelo propuesto varía de acuerdo a los criterios de agrupación, es decir la diversidad de familias que pueden ser formadas, combinado con el tiempo relacionado a la cantidad de productos que se tienen que asignar, con esta información se confirma la complejidad del PPC, y los alcances y limitaciones del modelo propuesto.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

El desarrollo de herramientas que nos permitan optimizar los recursos con los que se disponen, aseguran el uso y costo adecuado de los mismos para la actividad a desempeñar, implementar metodologías con base matemática aseguran y respaldan la toma de decisión.

La finalidad de esta investigación es proporcionar una herramienta de programación lineal para la toma de decisiones en cuanto al agrupamiento de productos, teniendo como resultados el ahorro de tiempo y costos relacionados al proceso de certificación. Tener un manejo del tiempo adecuado se ve reflejado dentro del proceso logístico dentro de las empresas involucradas, es decir desde el punto de vista del asesor, si es que se contrata alguno, se agilizan los procesos de agrupación y negociación, en cuestión de los laboratorios las pruebas de producto, de verificación, etcétera. Para la empresa disponer de tiempo, implica tomar decisiones que benefician al proceso cadena de suministro, en especial para aquellas empresas que dependen sus ventas de las estaciones. En lo relacionado a los costos del proceso de certificación, impacta a todos los eslabones de la cadena, en especial al cliente, de esta manera, se asegura el precio adecuado del producto. Es importante realizar este proceso de manera adecuada porque es una actividad que se realiza anualmente, y nuevas líneas de productos son lanzadas con frecuencia dentro de las empresas, llevando a actualizar los procesos de certificación. Desde el punto de vista de una empresa un certificado

menos, es un ahorro considerable en especial para empresas que sus productos son de bajo margen de ganancias, y para empresas que tienen productos de alto margen de ganancias el ahorro viene explícito en las diferentes pruebas que se realizan al producto, porque los productos sometidos a las pruebas podrían no salir al mercado.

Este tipo aplicaciones no es utilizado en la actualidad por ninguna compañía, por lo que la implementación y utilización de modelos con la finalidad agrupar familias tiene una gran gama de investigación, además con base en este proyecto es posible desarrollar o utilizar otros problemas de optimización para la asignación de productos, como bien se mencionan en el texto existe al menos dos más problemas de cobertura que pueden ser utilizados y los resultados pueden ser comparados entre sí, por otra parte queda apertura para posteriores investigaciones en buscar otros métodos de solución o uso de otros programas, esto con la finalidad de ser más accesible para todas las empresas que están en el rubro de agrupar familias para el proceso de certificación, ya que utilizar un *software* como lo es GAMS puede representar un costo muy grande para algunas empresas, porque la licencia es de alto costo por utilizarlo.

En cuestión de los resultados obtenidos podemos decir que el modelo cumple con los objetivos de agrupar de manera óptima los productos en familias, con esto, se disminuyeron los tiempos del proceso de certificación, además se demuestra que es posible reducir la papelería, la cantidad de pruebas y por consecuente la cantidad de certificados. Por otra parte, se muestra que el modelo puede ser adaptado a diferentes tipos de productos y normas, es posible también, adaptar a diferentes ONN si dentro de sus servicios permiten la agrupación de productos y servicios para la emisión de certificados.

Como sugerencias para la implementación del modelo se recomienda utilizar solo la cantidad de características que sean necesarias de agrupar, con la finalidad de ahorrar recursos computacionales y tener resultados óptimos y rápidos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANCE, sitio oficial web de la Asociación de Normalización y Certificación A.C. [en línea], 2015 [Consulta: 2015-03-08]. Disponible en: <<http://www.ance.org.mx/>>.
- [2] ARISTOGERONTE, «Ancho de vía en los FFCC españoles», *Carrollia*, **vol. 72**, **núm. 77**, págs. 17–18, abril 2002.
- [3] BALAS, E. y M. W. PADBERG, «*Set Partitioning: A survey*», *Society for Industrial and Applied Mathematics*, **vol. 18**, **núm. 4**, págs. 710–760, 1976.
- [4] BALLOU, R. H., *Logística administración de la cadena de suministro*, 5a. ed., Pearson Educación, ISBN: 970-26-0540-7, México, 2004.
- [5] BARCELÓ BUGEDA, J. y E. FERNÁNDEZ ARÉIZAGA, «Heurísticas, planos secantes y optimización subgradiente para *set partitioning*», *Questiio: Quaderns d'Estadística, Sistemes, Informatica i Investigació Operativa*, **vol. 12**, **núm. 2**, págs. 209–250, ISSN: 0210-8054, 1988.
- [6] BARCELÓ BUGEDA, J. y E. FERNÁNDEZ ARÉIZAGA, «Métodos duales y algoritmos híbridos para problemas de «*Set Partitioning*»», *Trabajos de Investigación Operativa*, **vol. 5**, **núm. 1**, págs. 35–59, ISSN: 0213-8204, diciembre 1990.
- [7] BAZARAA, M. S., J. J. JARVIS y H. D. SHERALI, *Programación lineal y flujo en redes*, 2a. ed., Limusa, ISBN: 968-18-4867-5, México, 2004.

- [8] BERNABÉ LORANCA, M. B. y C. GUILLÉN GALVÁN, «Búsqueda de entorno variable multiobjetivo para resolver el problema de particionamiento de datos espaciales con características poblacionales», *Computación y sistemas*, **vol. 16**, **núm. 3**, págs. 335–347, ISSN: 1405-5546, julio - septiembre 2012.
- [9] BERTSIMAS, D. y J. N. TSITSIKLIS, *Introduction to Linear Optimization*, Dynamic Ideas, ISBN: 1-886529-19-1, U.S.A., enero 1997.
- [10] CERTYLAB, sitio oficial web de CertyLab de Monterrey S.A de C.V. [en línea], 2015 [Consulta: 2015-04-09]. Disponible en: <<http://www.certylab.com/>>.
- [11] CHU, P. C. y J. E. BEASLEY, «*Constraint Handling in Genetic Algorithms: The Set Partitioning Problem*», *Journal of Heuristic*, **vol. 4**, **núm. 4**, págs. 323–357, ISSN: 1381-1231, 1998.
- [12] CIA, «*The world factbook*», sitio oficial web de la *Central Intelligence Agency* [en línea], noviembre 2015 [Consulta: 2015-11-19]. Disponible en: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/mx.html>>.
- [13] CNNEXPANSIÓN, «La camiseta de Zara y 11 productos que han sido retirados», sitio web de noticias CNN EXPANSIÓN, agosto 2014 [Consulta: 2015-11-08]. Disponible en: <<http://www.cnnexpansion.com/negocios/2014/08/27/11-productos-que-han-sido-retirados-del-mercado>>.
- [14] CSCMP, «*CSCMP's Definition of Logistics Management*», definiciones de logística y cadena de suministro [en línea], 2014 [Consulta: 2014-11-08]. Disponible en: <<https://cscmp.org/about-us/supply-chain-management-definitions>>.
- [15] DANTZIG, G. B., «*Reminiscences about the origins of linear programming*», *Operations Research Letters*, **vol. 1**, **núm. 2**, págs. 43–48, ISSN: 0167-6377, abril 1982.

- [16] EFE, «México se convierte en miembro efectivo del GATT», hemeroteca del diario el país [en línea], julio 1986 [Consulta: 2014-11-11]. Disponible en: <http://elpais.com/diario/1986/07/26/economia/522712808_850215.html>.
- [17] FERNÁNDEZ ARÉIZAGA, E., *Diseño y estudio computacional de algoritmos híbridos para problemas de Set Partitioning*, Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, 1988.
- [18] GAMS, «*The GAMS System*», sitio oficial web de *The General Algebraic Modeling System* [en línea], 2015 [Consulta: 2015-09-09]. Disponible en: <<http://www.gams.com/docs/intro.htm>>.
- [19] GOLDBARG, M. C. y H. P. LUNA, *Otimização combinatória e programação linear modelos e algoritmos*, 6a. ed., Campus Ltda., ISBN: 85-352-0541-1, Brasil, 2000.
- [20] HILLIER, F. S. y G. J. LIEBERMAN, *Introducción a la investigación de operaciones*, 9a. ed., Mc Graw Hill Educación, ISBN: 978-607-15-0308-4, México, 2010.
- [21] HUERTA OCHOA, C., «Las normas oficiales mexicanas en el ordenamiento jurídico mexicano», *Boletín mexicano de derecho comparado*, **núm. 92**, págs. 367–398, ISSN: 041-8633, mayo - agosto 1998.
- [22] ISO, sitio oficial web de *International Organization for Standardization* [en línea], 2015 [Consulta: 2015-04-03]. Disponible en: <<http://www.iso.org/iso/home.htm>>.
- [23] KARP, R. M., *Complexity of computer computations*, 1a. ed., The IBM Research Symposia Series, ISBN: 978-1-4684-2003-6, U.S.A., marzo 1972.
- [24] LEVINE, D., *Meta-heuristics: theory and applications*, Springer US, ISBN: 978-1-4612-8587-8, U.S.A., 1996.

- [25] SE, «Competitividad y normatividad», acciones y programas de Secretaría de Economía [en línea], septiembre 2015 [Consulta: 2015-11-08]. Disponible en: <<http://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/competitividad-y-normatividad>>.
- [26] SE, «Evaluación de conformidad», acciones y programas de Secretaría de Economía, subsección competitividad y Normatividad / normalización [en línea], junio 2015 [Consulta: 2015-11-08]. Disponible en: <<http://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/competitividad-y-normatividad-normalizacion?state=published>>.
- [27] SE, «Organismos de certificación», acciones y programas de Secretaría de Economía, subsección competitividad y Normatividad / normalización [en línea], junio 2015 [Consulta: 2015-11-08]. Disponible en: <<http://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/competitividad-y-normatividad-normalizacion?state=published>>.
- [28] SIEM, «Estadísticas de empresas que exportan, importan por estado», estadísticas de la página del Sistema de Información Empresarial Mexicano [en línea], noviembre 2015 [Consulta: 2015-11-09]. Disponible en: <http://www.siem.gob.mx/siem/portal/estadisticas/Est_ExpImp_xEdo.asp>.
- [29] TAHA, H. A., *Investigación de operaciones*, Pearson, ISBN: 978-607-32-0796-6, México, 2012.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Rubén Miguel Velázquez Mendoza

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro
con orientación en Logística Global

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

APLICACIÓN DEL PROBLEMA DE PARTICIONAMIENTO DE
CONJUNTOS PARA LA AGRUPACIÓN POR FAMILIAS EN EL PROCESO
DE CERTIFICACIÓN

Culiacán Sinaloa, México, 11 de septiembre de 1986.

Padres: Rubén Velázquez Casillas y Magda Evelia Mendoza Sánchez.

Estudios: Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios 224, título de técnico en computación. Instituto Tecnológico de Culiacán, título de ingeniero industrial.

Experiencia profesional: 2 años como ingeniero de producción y 2 años como asesor comercial.