



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

**Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DEL SISTEMA DE SALUD EN MÉXICO: EL
CASO DEL SERVICIO DE CONSULTA EXTERNA DEL HOSPITAL GENERAL “DR.
MIGUEL SILVA” DE MORELIA, MICHOACÁN, UTILIZANDO UN PROGRAMA
BASADO EN ALGORITMO GENÉTICO.**

TESIS

Que para optar al grado de:
MAESTRA EN ADMINISTRACIÓN

Presenta:

MARÍA LUISA SÁENZ GALLEGOS

Director de Tesis:

DR. PABLO M. CHAUCA MALÁSQUEZ

Morelia, Mich. Enero de 2008



Agradecimientos y Dedicatorias

Papá: añoro tenerte enfrente de mí para hablar de este momento, pero es tuyo, siempre lo has sido, por que tus hijas son tu obra, la que creaste día tras día, con tu ejemplo, con tu amor, con tus consejos y hasta con tu disciplina, la cual valoro más que nunca.

Mamá: hermosa, tú eres para mí la vida, no sólo porque me concebiste y cuidaste hasta que crecí, sino porque me enseñaste la lección más importante... dar amor y perdonar. Eres un remanzo y el bastión donde Te dedico este trabajo, porque es tuyo, es el fruto del retoño al que cuidaste y diste amor hasta que se bastara a sí mismo y más.

A mi ahijado (Luis Rafael) y sobrinos (Eduardo, Guillermo, Daniela, Jonathan, Raquel, Daniel, Alan y Jesús Salvador) a quienes les deseo toda la felicidad y en quienes, modestamente espero, despertar una inquietud.

José Luis: Cuando te contemplo se porque Dios me dio tu compañía, y me siento bendecida. Con los buenos y malos momentos, en lo próspero y en lo adverso, hemos aprendido a caminar por la vida juntos. Gracias por todo mi amor

Cati: Te admiro tanto como profesionalista, pero como ser humano más, me siento muy agradecida de que seas mi hermana y de poder dedicarte esta tesis.

A la familia Cira (en especial al Sr. Eustolio) por acogerme como a una hija y haber formado con su ejemplo, amor y esfuerzo, a alguien que es una parte importante de mi vida.

Padre bueno, Dios... gracias por la inspiración, las dudas, el pensamiento, el encontrarme con vida y tener conmigo el amor (tu bendición) para lograr este fin.



Agradezco al Dr. Pablo M. Chauca Malázques, sus recomendaciones y observaciones hechas durante la elaboración de esta tesis, pero sobretodo agradezco la calidad humana con que me guió.

Agradezco a mis profesores y sinodales el haberme dedicado su tiempo y compartir sus conocimientos para enriquecer mi formación

Al espíritu nicolaita, que permite que la educación sea accesible para todo el que desea superarse y que el privilegio de servir a la sociedad sea posible

Índice

i.	Abstract	
ii.	Introducción	
I.	La investigación y sus objetivos	1
I.1.	Planteamiento del problema	1
I.2.	Justificación	4
I.3.	Objetivos	4
I.4.	Hipótesis	5
I.5.	Metodología	5
II.	Desarrollo y Organización del Sector Salud en México.....	6
II.1.	Evolución del Sistema de salud	6
II.2.	Organización del Sistema de Salud	11
III.	Gestión de la Calidad de los servicios de salud en México	13
III.1.	Características de la Gestión del Sistema de Salud Mexicano	13
III.2.	La cuestión de la calidad y mejora de procesos	15
III.3.	Problemas y factores que dificultan la implantación de un modelo de gestión	25
	de calidad	
III.4.	Las tecnologías de información como apoyo para la gestión	26
	de la calidad en el sector salud	
IV.	Los servicios de salud en Michoacán	28
IV.1.	Organización	29
IV.2.	Gestión de la Calidad	32
IV.3.	Retos de los servicios de salud estatales	35

V. El servicio de consulta externa del Hospital General “Dr. Miguel Silva” (HGMS)	
y sus procesos: El Algoritmo Genético como propuesta	
para la optimización de los procesos administrativos	48
 V.1. La inteligencia artificial y sus aplicaciones en la gestión	48
V.2. La técnica del Algoritmo Genético	57
V.3. El HGMS, su servicio de consulta externa; organización y procesos	93
V.4. Análisis y selección del proceso a optimizar	97
V.5. Costeo de los procesos	102
V.6. Formalización y operación del modelo del Problema: Programación y	105
rotación el personal de enfermería	
 Conclusiones	125
Recomendaciones y Trabajos futuros	131
Bibliografía	133
Anexos	138

Índice de cuadros, tablas y figuras

Cuadros

1.1. Evolución del sistema nacional de salud en México.....	7
1.2 Cambios estructurales del sistema de salud de México (reformas)	8
4.1 Infraestructura del sector salud de Michoacán, 2006	30
4.2 Estrategias nacionales para mejorar y mantener la salud de la población	30
4.3 Población con y sin acceso a los servicios de salud en Michoacán (1997-2006)	36
4.4 Localidades, población con y sin acceso a servicios de salud en Michoacán en 2006	37
4.5 Indicadores de recursos materiales humanos Michoacán (2000-2005)	38
4.6 Mortalidad general en Michoacán, 2005	40
4.7 Morbilidad general en Michoacán, 2005	40
4.8 Mortalidad infantil en Michoacán, 2005	41
4.9 Mortalidad materna en Michoacán, 2005	42
5.1 Inteligencia humana vs. Inteligencia artificial	49
5.2 Casos de aplicación de las técnicas de IA en las organizaciones	55
5.3 Implementación del método de la ruleta	78
5.4 Implementación del método estocástico	80
5.5 Implementación del método de selección proporcional.....	82
5.6 Implementación del método de selección lineal.....	83

Tablas

5.1 Valores de aptitud de una población de seis individuos, método de la ruleta	77
5.2 Valores de aptitud de una población de seis individuos, método estocástico	79
5.3 Valores de aptitud de una población de seis individuos, método de selección proporcional	81
5.4 Valores de aptitud de una población de seis individuos, método de selección lineal.....	82
5.5 Comparación de resultados de los diferentes métodos de selección para una misma población	84
5.6 Plantilla de personal disponible para la asignación en consultorios y costos relacionados	110
5.7 Perfil de personal desado de acuerdo a los requerimientos de consultorio , ejemplo 2.....	115
5.8 Plantilla de personal disponible para la asignación en consultorios y costos relacionados ejemplo 2	110

Imágenes

1.1 Sistema de salud mexicano, fuentes de financiamiento, organización y cobertura	12
3.1 Modelo conceptual de la Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud	16
3.2 Esquema sintético de la Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud	19
3.3 Factores clave de la Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud	20
3.4 Modelo de Gestión de calidad propuesto por la Secretaría de Salud	21
3.5 Ciclo de mejora continua de procesos propuesto por la Secretaría de Salud	23
4.1 Eficiencia de los sistemas de salud estatales	45
5.3 Proceso de recombinación	60
5.4 Algoritmo genético en un ciclo sencillo	65
5.5 Gene	68
5.6 Códificación binaria de enteros	69
5.7 Descripción del método de codificación de la ruta	70
5.8 Mapeo del genotipo	72
5.9 Colocación de cadenas por rango	76
5.10 Valores en porcentaje, método de selección de la ruleta	78
5.11 Cruza en un solo punto	85
5.12 Cruza en dos puntos	85
5.13 Cruza uniforme	86
5.14 Proceso de mutación	87
5.15 Cromosoma antes y después de la inversión	89
5.16 Diagrama del proceso de programación del personal de enfermería	101
5.17 Definición de un problema	103
5.18 Posibles soluciones de un problema en términos de eficiencia	103
5.19 Posibles soluciones a un problema con restricciones	104
5.20 Enfoque de investigación de operaciones	105
5.21 Esquema del problema de programación del personal de enfermería	108
5.22 Primera generación de individuos producidos por el AG, ejercicio 1	112
5.23 Ordenamiento por aptitud 1ª. Generación, ejercicio 1	113
5.24 Segunda generación de individuos producidos por el AG, ejercicio 1	114
5.25 Tercer ageneración de individuos producidos por el AG, ejercicio 1	115
5.26 Primera generación de individuos producidos por el AG, ejercicio 2	117

5.27 Ordenamiento por aptitud 1ª. Generación, ejercicio 2	118
5.28 Segunda generación de individuos producidos por el AG, ejercicio 2	119
5.29 Tercer ageneración de individuos producidos por el AG, ejercicio 2	120
5.30 Cuarta ageneración de individuos producidos por el AG, ejercicio 2	120

Gráficas

4.1 Porcentaje de gastos asignados por programa en Michoacán, 2005	46
4.2 Evolución de la participación estatal y federal en salud (1997- 2005)	47

Mapas

4.1 Jurisdicciones sanitarias y cabeceras administrativas de salud	29
--	----

I. ABSTRACT

El objetivo de esta tesis es mostrar de qué manera puede ser apoyada la gestión de la calidad de los servicios de salud mediante la optimización de sus procesos, en el marco del sistema nacional de salud, para lo cual se usa la técnica de búsqueda y optimización de computación evolutiva denominada Algoritmo Genético (AG), en el proceso de programación del personal de enfermería, del servicio de consulta externa del Hospital General “Dr. Miguel Silva” (HGMS) de Morelia, Michoacán, eligiéndolo por la importancia de este centro de salud y la accesibilidad a la información. Se formuló y formalizó el modelo de éste proceso. Asimismo, se programó un sistema de cómputo basado en AG para encontrar la manera óptima de “resolver” el proceso de programación del personal de enfermería, seleccionando los mejores atributos profesionales y técnicos, con los menores costos. La principal ventaja de utilizar el AG, en relación a otros métodos de optimización, fue que proporcionó varias soluciones factibles para apoyar la toma de decisiones, así como su versatilidad para ser aplicado en la optimización de otros procesos en el entorno de los servicios de salud, como son: la programación de citas, estudios de laboratorio y gabinete y cirugías, entre otros.

The aim of this thesis is to show how the quality management of the health services could be supported by the processes optimization, in the context of the national health system, using the evolutionary computation search optimization technique named Genetic Algorithm (GA), in the process of programming the nursing staff of the consultation service of the “Hospital General Dr. Miguel Silva” (HGMS) from Morelia, Michoacán being elected because of the importance of this health center and the accessibility to the information. A formulation and formalization of the process was made. As well as, a computational system based on GA was programmed to find the optimal way “to solve” the process of programming the nursing staff, taking into account the best technical and professional attributes of the individuals with the lower costs. The main advantage of GA, in relation with other optimization techniques, was its possibility of getting different solutions for supporting decision making processes, as well as its versatility for being applicated in other processes optimization in the context of the health services, i.e. appointment, clinical trials and surgery programming, and so on.

ii. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la adopción de prácticas administrativas provenientes del sector privado en las instituciones del sector público, como resultado del sistema económico predominante en el país y sus tendencias, obliga a las organizaciones públicas a cambiar sus formas de operación y su cultura organizacional. Para responder a este contexto en particular, asegurando una transición positiva, así como su permanencia y pertinencia, las Instituciones del Sistema Nacional de Salud deben hacer uso de todas las herramientas disponibles, tales como los enfoques y modelos de administración y gestión actuales y el uso de la tecnología, particularmente la de cómputo.

Hoy por hoy, es innegable el impacto que tiene la inclusión de Tecnologías de Información en las organizaciones, ejemplo de esto son los denominados sistemas de información¹. Es por ello que en este trabajo se pretende hacer uso de una de las técnicas que brinda la denominada “computación evolutiva”, rama de la inteligencia artificial, en la gestión institucional de los servicios de salud. En este caso, se constituye en un apoyo en la reingeniería de procesos del Sector Salud, específicamente en el escenario que brinda el servicio de Consulta Externa del Hospital General “Dr. Miguel Silva” de Morelia (HGMS), donde los pacientes son diagnosticados y canalizados a diferentes departamentos y servicios como son cirugía, laboratorio, especialidades, entre otros, en donde la gestión eficiente de los recursos es tan necesaria.

Para este fin, la presente tesis se ha estructurado de la siguiente manera; primeramente, en el capítulo I, se hace un análisis de las situaciones, problemáticas, observaciones e hipótesis motivo de la investigación, así como los objetivos que se pretenden alcanzar, delimitando sus alcances y explicitando la organización metodológica para su instrumentación.

Posteriormente, los capítulos II y III sitúan al lector en el marco teórico y referencial que dan sustento al trabajo, en donde se ofrece una panorámica del devenir, organización y modelo de gestión del sistema nacional de salud, haciendo énfasis en las características, problemáticas y tendencias de este último punto, en especial en aquellos aspectos que tienen que ver con la implantación de una cultura de calidad en los servicios de salud y el enfoque de mejora continua. Luego, en el capítulo IV se presenta el panorama de los servicios de salud de Michoacán, con respecto a su organización y retos, con la finalidad de considerar

¹ Conjunto de componentes interrelacionados que permiten capturar, procesar, almacenar y distribuir la información para apoyar la toma de decisiones y el control de la institución (Laundon y Laundon,1996). p. 8

sus características en cualquier propuesta de gestión de la calidad. Posteriormente, el capítulo V presenta la parte medular del trabajo, es decir, el estudio de caso, iniciando con la descripción de la rama de computación denominada inteligencia artificial y sus aplicaciones en la gestión empresarial, concluyendo con la descripción detallada de los aspectos teóricos de la técnica de computación evolutiva denominada Algoritmo Genético (AG), propuesta en esta tesis como una opción de optimización de los procesos de apoyo de las Instituciones de salud. Así como la descripción del escenario donde será aplicado y probado el AG es decir, el servicio de consulta externa del Hospital General “Dr. Miguel Silva” (HGMS) identificando algunos de los procesos que se llevan a cabo en este servicio y que son susceptibles de ser optimizados, de acuerdo con la información disponible y la naturaleza del problema que plantean, procesos tales como la programación del personal médico y paramédico, cirugías y estudios de laboratorio. Asimismo se describe y realiza la formalización, modelado y formulación que servirá de base para aplicar la técnica del AG en el proceso de programación del personal de enfermería, en base a restricciones como el perfil requerido en los consultorios y la minimización de costos.

Finalmente, se discuten las implicaciones del uso del AG en la mejora de procesos del sector salud, se analizan y comentan los resultados obtenidos con la aplicación del AG en la optimización del proceso de programación del personal de enfermería, en términos de las soluciones encontradas por el AG y los recursos invertidos en cada una de estas, se presentan algunas conclusiones desprendidas del estudio íntegro del documento, con lo cual se podrá validar o desechar las hipótesis planteadas en el capítulo I.

I. LA INVESTIGACIÓN Y SUS OBJETIVOS

Planteamiento del problema

Al realizar la revisión de diversos documentos e información, previo a la ejecución de esta tesis, pudo encontrarse que entre las décadas de los cincuenta y sesenta, el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) fue el pionero en establecer sistemas de evaluación de la calidad del servicio. Sin embargo, no fue hasta 1982 que este ejercicio fue declarado una política de estado². Así en los últimos 25 años, puede identificarse en la Política Nacional de Salud, una orientación para mejorar los factores que posibilitan el incremento de la calidad de la atención, con el objeto de mejorar las condiciones de salud de la población. Filosofía que durante el sexenio pasado, fue operacionalizada a través de la *Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud*, estrategia sustantiva del Programa Nacional de Salud 2001-2006, encaminada a fomentar una cultura de calidad en el personal de salud y en la atención que éste presta y que al parecer, de acuerdo con información de la Dirección General de Calidad y Educación en Salud de la Secretaría de Salud, continuará en la presente administración³. En este contexto, las líneas de acción de los programas para elevar la calidad de los servicios de salud incluyen: el enfoque centrado en el usuario, la certificación de hospitales y recursos humanos del área de la salud, reingeniería de procesos e implantación de ciclos de mejora continua, entre otros.

Por otra parte, también pudo verse que las Instituciones del Sistema Nacional de Salud, al ser empresas de servicio de tipo público o privado, con la característica particular de que la vida humana está de por medio, deben asegurar el cumplimiento de los indicadores de calidad y efectividad que respondan adecuadamente a las políticas y demandas de salud del país, así como a su modelo de gestión. Ejemplo de esto es el indicador de certificación referente a los sistemas de apoyo de los servicios de salud: “*contar con la cantidad y calidad tecnológica adecuada de equipo de cómputo y sistemas informáticos para apoyar los servicios de los hospitales, especialidad o especialidades*”⁴. Es decir, hacer uso de sistemas de información y herramientas que brinda la computación como apoyo para mejorar la calidad de la atención de salud. Por

² Ruelas-B., M.C., M.A.P., M.A.S.S., Vidal-P., M.C., M.A.H. Unidad de Garantía de Calidad. Estrategia para asegurar niveles óptimos en la calidad de la atención médica. Salud Pública Méx 1990; Vol. 32(2):225-23 p. 226

³ Secretaría de Salud. Dirección General de Calidad y Educación en Salud. 1ª. Reunión Nacional de Responsables Estatales de Calidad. Estrategias de Calidad. México. 2007. disponible en http://www.salud.gob.mx/dirgrss/foros_y_reuniones/rep_est_de_calidad/presentaciones/Estrategias_Calidad.ppt fecha de acceso 01/05/2007

⁴ Secretaría de Salud. Consejo de Salubridad General. bases para la instrumentación del Programa Nacional de Certificación de Hospitales. disponible en <http://www.salud.gob.mx/unidades/csg/publica/DOF/CRITERIO.PDF> . Fecha de acceso 01/05/2007

lo que la Secretaría de Salud, asumiendo su papel rector del Sistema Nacional de Salud, a través de la Dirección General de Tecnologías de la Información, ha tratado de homogeneizar, tanto el equipamiento, como el manejo de los sistemas informáticos en las diferentes unidades de salud, como puede observarse en la misión de su normatividad:

“La misión de la normatividad en Tecnologías de la Información estriba en incorporarlas como elemento fundamental para fortalecer los servicios que las instituciones de salud ofrecen a la población, a fin de generar un impacto favorable en la calidad de los mismos, apoyar los programas orientados a alcanzar la cobertura universal, atender problemas de salud pública, apoyar las acciones de vigilancia sanitaria y epidemiológica, mejorar la planeación y evaluación del desempeño, racionalizar el uso de los recursos y fortalecer su administración, incluyendo mejoras en el desarrollo y la productividad del personal de salud⁵.”

Por lo anterior, la esencia y relación que debe guardar la incorporación de los sistemas informáticos y de comunicaciones en los centros de salud públicos es la de favorecer la función social de brindar servicios de calidad y posibilitar la cobertura universal. Es decir, no como mera y fría aplicación de sistemas y equipos de cómputo para la recolección de datos o a manera de herramienta de control. Sino como verdaderos instrumentos que permitan el incremento de la calidad y la inclusión de parámetros cualitativos que impactan en la atención y mejoramiento de los procesos en todos los niveles de atención.

Pudo observarse que paulatinamente se ha ido incorporando el uso de equipos y sistemas de cómputo en los centros y unidades de salud, de tal manera que actualmente, el inventario de sistemas de información de la Secretaría de Salud da cuenta de que los sistemas de cómputo de esta Institución, buscan apoyar funciones como la vigilancia epidemiológica, el registro patológico, el seguimiento de programas y políticas prioritarias de salud, facturación, manejo de almacenes, registro, costos, manejo de nómina, planeación y seguimiento del desempeño de las unidades de salud, alta, seguimiento y administración de los derechohabientes y la población abierta, principalmente. Además existe un espacio de discusión de experiencias, intercambio y desarrollo de software, denominado “club de software”, el cual tiene como finalidad *“compartir herramientas informáticas para beneficio del Sector Salud, que faciliten y mejoren la realización de sus tareas, sean éstas relacionadas con la administración, la capacitación, la difusión de información, o bien la prestación de servicios de salud”⁶*, de manera gratuita.

⁵ Secretaría de Salud. Normatividad de la Dirección General de Tecnologías de Información. Disponible en <http://norma-ti.salud.gob.mx/contenidos/mision/mision.html> fecha de acceso 03/08/2007

⁶ Ibidem

Por último, haciendo la revisión de las aplicaciones de la inteligencia artificial en el ámbito de la gestión, particularmente en el de las Instituciones de salud, se analizaron diversos artículos y proyectos, principalmente extranjeros, en donde se encontró que existen aportaciones al mejoramiento de la gestión de los sistemas de salud, desde un grado modesto, hasta proyectos prominentes desarrollados como estrategia nacional, que además tienen un enfoque orientado hacia la calidad de la atención al usuario.

Preguntas de Investigación

Por lo anterior, cabe plantearse las siguientes preguntas de investigación, cuyas respuestas podrán ser contestadas a través de esta tesis:

¿Cómo mejorar los procesos del sistema de salud en México utilizando un programa de optimización basado en el Algoritmo Genético (AG)?

¿Cuáles son los procesos cuya reingeniería impacta verdaderamente en la calidad de la atención en el Sector Salud?

¿Cuáles son las ventajas de utilizar la técnica del AG en la reingeniería de los procesos de una institución de salud?

El escenario donde se responderán a las problemáticas planteadas anteriormente será el servicio de consulta externa del Hospital General “Dr. Miguel Silva” de Morelia, Michoacán, ubicado en las calles de Isidro Huarte y Samuel Ramos del centro. En donde se recabarán datos para posteriormente ser tratados, analizados y discutidos y así validar o refutar la hipótesis de trabajo.

Justificación

La tendencia de la adopción de prácticas administrativas provenientes del sector privado en la gestión de las Instituciones del sector salud (reingeniería, mejora continua, calidad, sistemas de información para la toma de decisiones, “hacer más con menos”, etc.), requiere la convergencia de todas las prácticas y herramientas que posibiliten que las mejoras sean factibles en condiciones donde la carencia de recursos humanos, técnicos, financieros o físicos es una constante, tal es el caso de las Instituciones de salud

públicas. Solamente con el hecho de asistir a consulta o acompañar a algún familiar que requiera alguno de los servicios de salud, uno puede darse cuenta de la gran falta que hace una gestión adecuada para brindar atención de calidad, desde una simple programación de citas, hasta el abasto de medicamentos. El Hospital General “Dr. Miguel Silva” de Morelia, adscrito a la Secretaría de Salud de Michoacán, no podría ser una excepción, menos siendo uno de los centros de salud que mayor demanda tiene en el estado, ya que presta atención a la población abierta y se canalizan a sus instalaciones casos del interior del estado. Anualmente se realizan más de 100,000 consultas, se programan más de 2 millones de pruebas auxiliares de diagnóstico y los servicios con mayor demanda son los de ginecología y obstetricia, cirugía general y medicina interna⁷. Tipificado como un hospital de 2° nivel de atención (cirugía, enseñanza, investigación) se realizan en éste actividades en condiciones de precariedad lo que hace de este centro de salud, un escenario potencial para la mejora de procesos que aun se realizan “a pie” y decisiones que se hacen sin tener el panorama completo de una situación, puedan ser evaluados y mejorados.

Objetivo General

Mejorar los procesos del sistema de salud en México utilizando un programa de optimización basado en el Algoritmo Genético

Objetivos específicos

1. Identificar cuáles son los procesos que mayor impacto tienen en la calidad de la atención en el servicio de consulta externa del HGMS y que son susceptibles de ser mejorados.
2. Conocer cuáles son las ventajas de utilizar la técnica del AG para mejorar los procesos administrativos del servicio de consulta externa del HGMS.

Hipótesis de trabajo

Los procesos del Sector Salud pueden ser mejorados mediante un programa de optimización basado en Algoritmo Genético

Los procesos cuya reingeniería impacta verdaderamente en la calidad percibida de la atención en el sector salud son los de los servicios que tienen mayor demanda

⁷ Entrevista con la Jefa de enseñanza del Hospital General “Dr. Miguel Silva”

La ventaja principal de utilizar el AG para la optimización de los procesos de apoyo en una institución de salud es que se pueden tener soluciones óptimas o sub-óptimas que apoyen la toma de decisiones

Metodología

Para llevar a cabo esta investigación se realizaron las siguientes etapas:

1. La primera etapa, de naturaleza indagatoria, consistió en recopilar información con la cual se pudiera identificar de qué manera fortalecer a los servicios de salud de Michoacán en relación a la gestión y la calidad de los mismos, así como la factibilidad de aplicar la técnica del Algoritmo Genético (AG) con ese fin, la propuesta de tesis, por lo que se llevó a cabo la revisión bibliográfica y documental de diferentes fuentes de información de ese tipo.
2. Posteriormente, una vez seleccionado el escenario donde se desarrollaría la propuesta, se procedió a llevar a cabo el trabajo de campo, consistente en realizar entrevistas con personal del Hospital General “Dr. Miguel Silva” (HGMS), así como realizar la observación directa de las actividades que se llevan a cabo en ese centro de salud, lo cual permitió tener acceso a la información de los procesos y los problemas que representan un obstáculo para su adecuada operación.
3. A continuación, se procedió a realizar el análisis de la información recolectada, así como la selección de los procesos potenciales para optimizar, eligiendo el de programación y rotación del personal de enfermería debido a la disponibilidad de los datos y de la jefa de enfermeras para colaborar en el trabajo de tesis.
4. Paralelamente al punto anterior, se comenzó a analizar y realizar el programa de optimización usando AG en base a un trabajo de maestría del Instituto Tecnológico de Morelia, por la sencillez en la exposición de esta técnica en el mismo.
5. De la misma manera, se llevó a cabo la formalización y modelado del problema de optimización de programación y rotación del personal de enfermería haciendo uso de técnicas de administración de operaciones.
6. Por último, se hizo la corrida del software programado con la información del personal de enfermería que laboró durante 2007.

II. DESARROLLO Y ORGANIZACIÓN DEL SECTOR SALUD

Evolución del sistema nacional de salud

El término “*sistema de salud*” comprende a los actores y recursos que están relacionados con el financiamiento, regulación y prestación de servicios de salud; cuya finalidad es promover, mantener y mejorar el estado de salud de la población⁸. La Organización Mundial de la Salud (OMS), reconoce tres objetivos finales, básicos o intrínsecos de los sistemas de salud: 1) mejorar la salud de la población; 2) ofrecer un trato adecuado a los usuarios de los servicios de salud, y 3) garantizar seguridad financiera en materia de salud⁹.

En este marco, los orígenes del sistema de salud mexicano se remontan al porfiriato, en donde surgieron las primeras políticas públicas en materia de salud. Posteriormente comenzaron a construirse instituciones y a diseñarse modelos de atención basados en la población a la que se le prestaba atención. A continuación, hubo necesidad de unificar a las instituciones de salud que venían funcionando de manera desarticulada para que tuvieran los mismos principios, propósitos y objetivos en un Sistema Nacional de Salud, definiendo las bases y modalidades de acceso a los servicios y los lineamientos de acción para los programas de salud. Paralelamente, la legislación en materia de salud fue evolucionando, hasta convertirse ésta en un derecho constitucional explicitado en el artículo 4° de la Carta Magna. Asimismo, la participación pública en la provisión de servicios ocurría a través de una gran variedad de instituciones semiautónomas desarticuladas, por lo que se procedió a la coordinación funcional de éstas, para evitar la duplicidad de funciones e incrementar la participación de los sistemas locales y de la propia comunidad en materia de salud. En el cuadro 1.1 se describe la evolución del Sistema Nacional de Salud mexicano.

Cuadro 1.1: Evolución del Sistema Nacional de Salud en México

Período/Año	Evento
Porfiriato (1876-1911)	⇒ Se crea el Consejo Superior de Salud
	⇒ Primeras Políticas de salud pública con programas dirigidos a la población urbana
Cardenismo	⇒ Se crearon la Secretaría de la Asistencia Pública y

⁸ Puentes R., Gómez D. O, Garrido L. Trato a los usuarios en los servicios públicos de salud en México. Rev. Panam. Salud Publica. 2006;19(6):394-402

⁹ Organización Mundial de la Salud. Informe sobre la Salud en el Mundo 2000. Mejorar el desempeño de los sistemas de salud. Ginebra: OMS, 2000

(1934-1940)	los servicios médicos rurales cooperativos, sentando las bases del actual sistema de salud ⇒ Se elaboró el primer proyecto de ley de Seguridad Social
1943	⇒ Se fundan la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) con un modelo de atención para la población en general. ⇒ y el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) con un modelo de atención para los trabajadores con relación laboral formal
1960	⇒ Se crea el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), con cobertura a la población trabajadora del gobierno.
Luis Echeverría (1970-1976)	⇒ Se realiza Primera Convención Nacional de Salud ⇒ Se establece la unidad de principios, propósitos y objetivos para ser alcanzados en decenio en materia de salud pública ⇒ Se elabora el primer Plan Nacional de Salud ⇒ Reforma de la Ley del Seguro Social, para dar cabida a grupos sociales excluidos a través de regímenes especiales
1980-1988	⇒ Se integró a las diferentes instituciones de salud en un Sistema Nacional de Salud ⇒ El derecho a la protección de la salud se elevó a rango constitucional ⇒ Se publicó la Ley General de Salud, conteniendo los fundamentos del Sistema Nacional de Salud, bases y modalidades de acceso a los servicios y lineamientos de acción para los programas de salud ⇒ Participación estatal en la provisión de servicios, pero de manera desarticulada
(1988-1994)	⇒ Inicia la estrategia de consolidación del Sistema Nacional de Salud a través de la coordinación funcional de sus instituciones ⇒ Se busca incrementar la participación de los sistemas locales y la comunidad

(1994-2007)	⇒ Descentralización administrativa a los estados ⇒ El Sistema nacional de salud contempla a las instituciones públicas y privadas que prestan servicios de salud a la población. ⇒ La Secretaría de Salud es el eje rector del sector salud
-------------	---

Fuente: Elaborado a partir de información del documento "Antecedentes", en Salud. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública [Actualización: 23 de marzo de 2006], en www.diputados.gob.mx/cesop/

Asimismo, en el devenir del sistema nacional de salud se han identificados tres episodios con cambios que por su envergadura o contundencia, se han constituido en reformas, las cuales, de acuerdo a su orden de sucesión se han denominado reformas de la salud de primera, segunda y tercera generación.¹⁰ El cuadro 1.2 sintetiza qué enfoques y estrategias caracterizaron a cada generación de reformas.

Cuadro No. 1.2 Cambios estructurales del Sistema de salud de México como producto de las reformas

Reforma	Enfoque/características	Estrategias/Acciones
1ª. Generación (1943-principios de los setenta)	⇒ Institucionalización de la atención ⇒ Ratificación del Estado como responsable del cuidado de la salud ⇒ Cultura de Solidaridad Social*	⇒ Creación de la SS, el IMSS e Institutos de especialidades ⇒ Unificación de principios, propósitos y objetivos de las instituciones ⇒ Formulación del primer plan nacional de salud
2ª. Generación (finales de los setenta-1988)	⇒ Atenuación de las desigualdades sociales ⇒ Protección a la salud como derecho constitucional ⇒ Extensión de la cobertura ⇒ Participación estatal ⇒ Participación comunitaria	⇒ Promulgación de la LGS ⇒ Constitución del Sistema Nacional de Salud ⇒ Creación de reglamentos y definición de más de 300 normas técnicas ⇒ Programa Nacional de Salud como derivado del Plan Nacional de Desarrollo ⇒ Descentralización de los servicios de salud (LES) ⇒ Coordinación intersectorial ⇒ Sectorización institucional ⇒ Desarrollo de los RH

¹⁰ Fundación Mexicana para la Salud. La reforma de la Salud en México. Gaceta Médica de México: 137: 5. 419-443. 2001. pp. 9-11

		⇒ Impulso de la investigación y sistemas de información en salud ⇒ Modificación del manejo del financiamiento
3ª. Generación (1995-2000)	⇒ Extensión de la cobertura, privilegiando a la población rural dispersa ⇒ Búsqueda de la calidad en la atención de salud	⇒ Culminación del proceso de descentralización ⇒ Se formula el paquete básico de servicios de salud** ⇒ Implantación de sistemas de gestión de calidad ⇒ Nueva Ley del Seguro Social y nuevo modelo institucional de atención integral de salud (MIAIS) ⇒ Se implantó el enfoque de grupos relacionados de diagnóstico (GRD), para la asignación de recursos financieros

Fuente: Elaborado a partir de información del documento La reforma de la Salud en México. Op. Cit.

* Aprovechamiento de los recursos excedentes del sistema de seguridad social a los cuales se les agregan contribuciones estatales casi de igual cuantía para extender la cobertura.

** Paquete que consiste de 13 acciones preventivo-curativas básicas y otras acordes a las necesidades regionales, con las cuales se busca inculcar una cultura de autocuidado con la participación de las comunidades, respetando su contexto cultural

La literatura especializada señala que entre 2000 y 2001 el sistema nacional de salud inició una nueva reforma, de corte estructural financiero, pero que igualmente busca operacionalizar el Derecho a la Protección a la Salud, sobretudo en beneficio de los pobres, ejemplo de ello son el seguro popular, el fideicomiso en contra de gastos catastróficos y otros que buscan extender la cobertura a la totalidad de la población^{11,12}. Incluso se hace referencia a que la presente reforma se fundamentó en el Informe de Salud Mundial 2000, el identificó que México tenía un problema relacionado con gastos catastróficos en salud¹³, por lo que este argumento se utilizó para garantizar el consenso político y reformar el sistema. Así, el 1º de enero de 2004 se estableció en la Ley General de Salud, el Sistema de Protección Social en Salud (SPSS), el cual incluye al Seguro Popular (SP) y comprende cinco acciones que en conjunto, constituyen la reforma:

¹¹ Secretaría de Salud. Cuentas en salud en México 2001-2005. Op. Cit. pp. 1-3

¹² Gakidou E., Lozano R., González-Pier E., Evaluación del impacto de la reforma mexicana de salud 2001-2006: un informe inicial. Salud Pública Mex 2007; 49 supl I:S88-S109

¹³ De acuerdo con investigaciones publicadas en la revista Salud Pública de México, los gastos catastróficos en salud son aquellos en que incurren las familias al afrontar problemas de salud y que generalmente son superiores a 30% de su capacidad de pago. Asimismo, todos aquellos que llevan a las familias a deshacerse de su patrimonio e incluso acabar con éste para solventar gastos por servicios de salud y medicamentos.

1. El financiamiento público por familia está ligado a la “contribución social”.
2. El paquete de servicios individuales de salud es explícito y se da a conocer a todos los afiliados, servicios de salud estatales y a los contribuyentes.
3. Los servicios de salud estatales reciben fondos proporcionales al número de familias que se afilien cada año voluntariamente.
4. El dinero federal se divide en dos partes: un fondo para servicios no personales y un fondo para servicios personales.
5. Creación de un fondo de protección contra gastos catastróficos con dinero federal para financiar la atención de padecimientos cuyo tratamiento a menudo resulta en gastos excesivos.

Estas acciones comprenden lo que se denomina la “*Reforma Mexicana de Salud 2001-2006*”, ya que aunque las modificaciones a la Ley General de Salud se aprobaron en 2003 y se puso en marcha en 2004, las negociaciones iniciaron en 2001, con una fase piloto en 20 estados a finales de 2002.

Además, podría decirse que en las últimas dos décadas, el gobierno federal ha mantenido las siguientes políticas con la finalidad de llevar a cabo la consolidación del Sistema Nacional de Salud y cumplir con sus objetivos:

1. La descentralización administrativa. Transferencia de recursos, bienes, inmuebles y plazas laborales a los estados teniendo como cabeza a la Secretaría de Salud. Los estados deciden sobre los recursos federales que reciben, siempre y cuando proporcionen el Paquete Básico de Servicios de Salud¹⁴.
2. Reducción de la desigualdad entre las entidades federativas respecto a la disponibilidad de los servicios de salud.
3. Fomentar la provisión pública y privada de los servicios de salud.
4. Distribuir de manera equitativa el gasto federal en salud entre las entidades federativas.

Sin embargo, en México algunas de las problemáticas que caracterizan al sistema de salud mexicano están relacionadas con: el acceso diferencial a los servicios de salud, ya que de acuerdo a la modalidad de

¹⁴ Nivel mínimo de acciones de salud determinadas por el gobierno federal para la población abierta

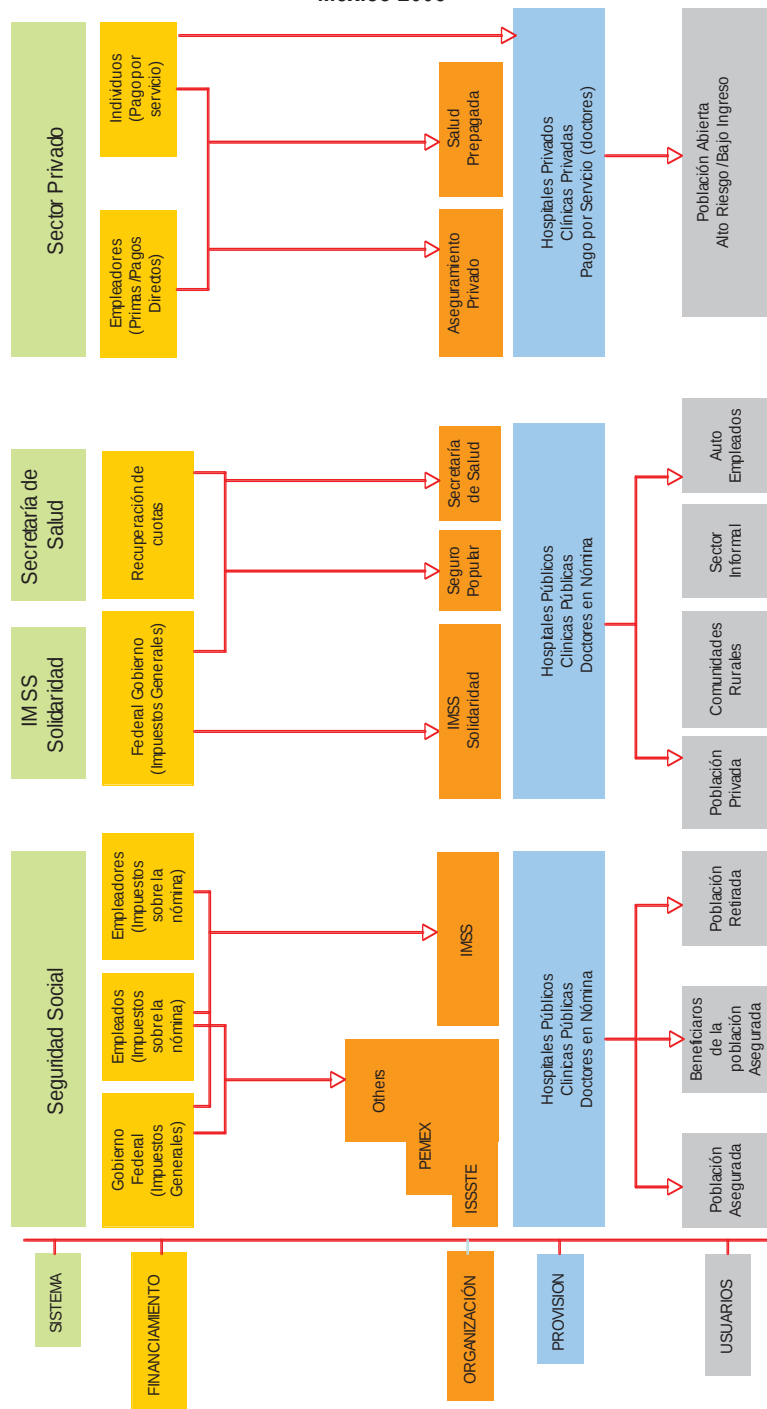
afiliación los paquetes de beneficios son diferentes (Seguro Popular, IMSS – oportunidades, IMSS Régimen Ordinario, Seguros Privados), el acceso a la calidad de atención es diferente entre instituciones y dentro de las instituciones, la carencia de capacidad de gestión se refleja en la falta de entrenamiento en gerencia de servicios de salud, desarticulación de los componentes de gerencia y administración de los servicios y sistemas de información para la toma de decisiones deficientes (no confiables, no válidos), incapacidad para producir servicios de salud insuficiente para la demanda (recursos humanos, infraestructura, equipo médico, distribución de medicamentos), entre otros.¹⁵ Por último los expertos coinciden que cada día habrá una mayor necesidad de participación del sector privado, como se verá en las tendencias de gestión de los servicios de salud.

Organización del sistema de salud mexicano

Actualmente, la estructura del sistema de salud mexicano, es la que se ilustra en la imagen 1.1:

¹⁵ Asociación Internacional de la Seguridad Social. Estrategias para extender la protección de la salud, empecemos por los valores. Disponible en <http://www.issa.int/pdf/belize06/3duran%20.ppt> . Consulta el 15/05/2007.

Imagen 1.1: Sistema de salud Mexicano.
Fuentes de financiamiento, organización y cobertura
México 2005



SESA: Servicios Administrados por la Secretaría de Salud

OCS: organización de Conservación de la Salud

Fuente: Puentes R., Gómez D. O, Garrido L. Trato a los usuarios en los servicios públicos de salud en México.
Rev. Panam. Salud Publica. 2006;19(6):394-402

El sector público de salud está integrado por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), Petróleos Mexicanos (PEMEX), Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) y la Secretaría de Marina (SEMAR), la población no asegurada recibe atención de la Secretaría de Salud, los Servicios Estatales de Salud, del programa IMSS-Oportunidades, programa desconcentrado de la Secretaría de Salud y administrado por el Instituto Mexicano del Seguro Social que proporciona atención en unidades de salud localizadas en localidades de población rural concentrada, y en 2004 se sumó el Seguro Popular de Salud (SPS), que irá incorporando paulatinamente a la población no asegurada hasta alcanzar en el año 2010 la cobertura universal. Asimismo, el sector privado lo constituyen todas las instituciones privadas con o sin fines de lucro.¹⁶

III. GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL SISTEMA DE SALUD EN MÉXICO

Características de la gestión del Sistema de Salud Mexicano

Con respecto al modelo de gestión de los servicios del sistema de salud, éste involucra la planeación, organización, dirección, coordinación y control de los recursos y actores del sistema y algunas de sus características son¹⁷:

- ⇒ La descentralización
- ⇒ La definición de objetivos y gestión organizacional centrados en el usuario
- ⇒ Uso del enfoque de dirección estratégica
- ⇒ Adopción de una cultura corporativa

Ejemplos de la implantación de prácticas administrativas en el sector público, provenientes del sector privado ("hacer más con menos"), son:

- ⇒ La búsqueda del incremento de la productividad y eficiencia
- ⇒ La adopción de programas de estímulos con indicadores de desempeño y premios a la calidad
- ⇒ Los estudios de costos
- ⇒ El mejoramiento de los sistemas de información
- ⇒ La implantación sistemas de auditoría y control
- ⇒ La tendencia a tener formas de contratación flexibles y precarización del trabajo

¹⁶ Secretaría de Salud. Las cuentas de salud en México 2001-2005. Op. Cit. p. 10. disponible en <http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/acerca/inegi324.asp?c=324> fecha de acceso 02/03/200

¹⁷ Hernández M. Tendencias en la gestión de los servicios de salud. Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública. Colombia. 2001;19(1):57-70

- ⇒ La capacitación de los directivos para que desarrollen habilidades administrativas.
- ⇒ El fomento del liderazgo carismático y transformacional
- ⇒ La adopción de paradigmas de mejora continua
- ⇒ La adopción de modelos de calidad

Es decir, un conjunto de estrategias de mercadeo y competencia. Además otras, directrices que se han introducido para reformar la gestión del sistema de salud son:

- ⇒ Cambio en el sistema de financiamiento
- ⇒ Definición de paquetes de atención
- ⇒ Introducción de paquetes de solidaridad financiera
- ⇒ Incremento de la participación ciudadana

Asimismo, la gestión se orienta a crear nuevos paradigmas centrados en:

- ⇒ Lograr mayor equidad en la accesibilidad a los servicios de salud
- ⇒ Lograr solidez financiera del sistema para asegurar la sostenibilidad de los servicios
- ⇒ Lograr mayor eficiencia, efectividad y calidad en la prestación de los servicios
- ⇒ Destacar la atención hacia el usuario, creando nuevos valores culturales
- ⇒ Crear incentivos basados en el desempeño y los resultados
- ⇒ Fortalecer el trabajo en equipo, interdisciplinario e intersectorial
- ⇒ Generar un mercado interno y crear competencia
- ⇒ Separar el papel del aseguramiento de la producción de servicios

Todo con el objeto de lograr mayor eficiencia, cobertura, calidad, economía y equidad de servicios de salud. Por otra parte, se han seguido las tendencias internacionales con asistencia técnica de organismos internacionales como la Organización Panamericana de la Salud, la Organización Mundial de la Salud, el Banco Mundial. Es decir, que la forma de gestión del sistema de salud es la de una propiedad del estado, pero con funcionamiento privado y con tendencia a que crezca la participación de ese sector en el mismo, debido a la expansión de la tesis neoliberal, es decir, que se busca el libre mercado y la reducción del rol del Estado en la provisión de servicios. Sin embargo cabe cuestionarse si la salud, siendo un servicio meritorio, es decir que se considera como uno de los derechos fundamentales del ser humano y que implica la vida de una persona, puede caber en este enfoque.

La cuestión de la calidad y mejora de procesos

Para identificar las directrices que orientan un modelo de gestión hospitalaria y la optimización de procesos en este contexto, se hace un análisis de las estrategias propuestas por la Secretaría de Salud, en su carácter de Institución rectora del sistema nacional de salud y otros trabajos relacionados con el tema. Así, se encontró que los esfuerzos por mejorar la calidad de la atención de salud datan de fines de la década de los 50 cuando se inician las primeras auditorías médicas en el IMSS, posteriormente se identifican otras prácticas con la misma finalidad como son: la implantación de círculos de calidad, procesos y programas de mejora continua, establecimiento de entidades para sistematizar las acciones de mejora de calidad, premios nacionales y estatales de calidad, certificación de hospitales, jurisdicciones y recursos humanos del área de la salud, entidades de conciliación y arbitraje en el ámbito de la atención de salud, así como la creación de asociaciones y sociedades que vigilan la atención a la salud. En tanto que en el sector privado se crearon las primeras empresas especializadas en consultoría sobre el tema, enfocadas a la evaluación y los procesos de mejora continua de la calidad técnica y en la evaluación de la satisfacción de los usuarios y prestadores de servicios¹⁸.

Así, a partir de 2002, se puso en marcha el Programa de Acción: Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud, como una de las cinco estrategias sustantivas del Programa Nacional de Salud 2001-2006, el cual se tenía por objetivo:

**“Eleva la calidad de los servicios de salud y llevarla
a niveles aceptables en todo el país, que
sean claramente percibidos por la población”**

Lo anterior, tanto en la dimensión técnica, como en la interpersonal. *La cruzada nacional por la calidad de los servicios de salud*, fue una estrategia nacional que pretendía rescatar el valor de la calidad y arraigarlo en la cultura organizacional del sistema, teniendo como punto de enfoque a los usuarios y teniendo como postulado para su diseño el que una estrategia de esta naturaleza depende del nivel de desarrollo del sistema de salud en el cual se pretende desplegar, así en México la heterogeneidad y variación en los niveles de calidad del servicio de salud son un signo de inequidad. En consonancia con ello, el modelo que

¹⁸ Secretaría de Salud. Subsecretaría de Innovación y Calidad. Dirección General de Calidad y Educación en Salud. Programa de Acción: Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud. 2002 pp. 7-8

presenta Chris H. en su obra *“Health Care Reform”*, señala que los valores que predominan en los países avanzados son la libertad de elección, el control de costos y la racionalidad del cuidado, pero en países como México, el valor predominante tiene que ser la equidad¹⁹.

Otros presupuestos son que una estrategia de calidad no es viable sino forma parte de una política y un proyecto de alta dirección de sus componentes, que permita reconocer que la mejora en la dimensión interpersonal de la calidad genera mayor atraktividad y reconocimiento por parte de la población y que calidad técnica impacta en las condiciones de salud, confianza y viabilidad financiera al abatir costos por errores. Además, el reconocimiento de que los sistemas de salud son complejos, es decir, que para diseñar una estrategia de calidad hay que considerar las interacciones que condicionan la salud de la población, como son la relación población-Estado, interinstitucional e intersectorial. Por último, el reconocimiento de que la adaptabilidad de los sistemas de salud, sólo es posible a través de la resistencia, aprendizaje o cambio de sus recursos humanos.

El modelo conceptual de la Cruzada considera un marco de valores relacionados con el humanismo, la administración del sistema, la interacción entre riesgos, beneficios y costos para el paciente y la sociedad, así como la importancia de un liderazgo con orientación estratégica. El modelo conceptual y sus componentes se ilustran en la imagen 3.1.

Imagen 3.1: Modelo Conceptual de la Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud



Fuente: Secretaría de Salud. Programa de Acción: Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud. Op. Cit.

¹⁹ Íbidem

Asimismo, las propuestas del programa de la Cruzada tienen fundamento en las reflexiones, y discusión de trabajadores y directivos con experiencia en la operacionalización de prácticas en materia de calidad, en la participación de un Consejo Asesor integrado por altos funcionarios, secretarios de salud, representantes de académicos y asociaciones de profesionales, directivos del sector privado, conclusiones de foros nacionales y estatales de salud, así como de la sesión del Consejo Nacional de Salud²⁰, reunido en Campeche en 2001 donde se presentó la versión preliminar del documento.

En el programa de la Cruzada reconoce la importancia de la comprensión de la cultura organizacional como parte de la gestión. Se reconoce que existen dos fuentes para producir y conducir el cambio. El ejercicio de la autoridad, que produce cambios conductuales, generalmente no sostenibles a largo plazo y la modificación de la cultura organizacional como impulsora del cambio, no sólo de conductas sino de las actitudes. Además, esta propuesta de la Secretaría de salud para gestionar la calidad en las unidades que prestan servicios de salud, adopta el enfoque de la cultura organizacional propuesto por Edgard Schein, en el cual la cultura organizacional puede ser comprendida como la *“acumulación de aprendizajes grupales basados en éxitos anteriores, por consiguiente válidos, y que por ello deben ser enseñados a los nuevos miembros”* y que considera la importancia de entender la manera en que se modifica ésta, para Schein, todo inicia cuando se incorpora en un grupo uno o varios valores (lo que es y debe ser importante), generalmente desprendidos de la convicción (creencia básica) del líder del grupo, ese valor adquirido genera conductas congruentes que finalmente se explicitan en manifestaciones visibles de la cultura. Esa conducta es reconocida como válida y se va arraigando entre el grupo²¹.

Por lo anterior, si se desea generar manifestaciones evidentes de un trato digno y de una calidad efectiva, eficiente, ética y segura, es imperante reconocer a la calidad como un valor. El papel del o de los líderes es fundamental, ya que la congruencia o falta de ésta con el valor y la conducta harán que se reconozcan las conductas válidas o de otra forma, las consecuencias negativas²².

²⁰ Órgano Colegiado, conformado por los 32 secretarios de salud de las entidades federativas, donde se formulan las políticas de salud que se llevan a cabo en la República Mexicana.

²¹ Gibson, Ivancevich, Donelly. Las Organizaciones. 10ª Ed. Mc.Graw Hill. México. 2001. pp. 34-35

²² Secretaría de Salud. Subsecretaría de Innovación y Calidad. Dirección General de Calidad y Educación en Salud. Programa de Acción: Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud. 2002. Op. Cit. pp. 16-18

Asimismo, aunque se cuenta con una amplia gama de definiciones de calidad, derivadas de diversas teorías y enfoques, para efectos de la cruzada por la calidad, los elementos de la definición de calidad son:

- ⇒ Trato digno (dimensión interpersonal de la calidad). Implica el respeto a los derechos humanos e individualidad de la persona, a los derechos del usuario de tener información veraz, completa, oportuna y clara, así como la amabilidad y el interés en las manifestaciones emocionales, mensajes y sentimientos de las personas.
- ⇒ Atención médica con efectos positivos (dimensión técnica de la calidad). Es decir, que se logre el resultado (efectividad), con la cantidad de recursos adecuada (eficiencia), de acuerdo a los valores socialmente aceptados (ética), y con los menores riesgos posibles (seguridad).

Se busca que en las instituciones del sistema nacional de salud se lleguen a presentar beneficios sociales tangibles para los usuarios y sus familiares, los recursos humanos del área de la salud y para el propio sistema de salud. Ejemplos de estos beneficios tangibles son:

1. La disminución de los tiempos de espera en el servicio de consulta externa en el primer nivel de atención.
2. La disminución de los tiempos de espera en los servicios de urgencias.
3. El incremento en la satisfacción de los usuarios en términos de la información sobre el diagnóstico, pronóstico y tratamiento de sus padecimientos.
4. La disminución de complicaciones y errores graves como consecuencia de internamientos hospitalarios.
5. Acceso a información confiable en cuanto a los indicadores de desempeño (calidad y eficiencia) de los recursos humanos del área de la salud.
- 6. Ahorro en costos en la prestación de servicios, derivado de la eliminación de desperdicios y mayor eficiencia de los procesos**

En relación al último punto, que es lo que se destaca en capítulos posteriores, los objetivos de la cruzada por la calidad, se encuentran organizados de acuerdo a su orientación por tipo de grupo en: 1) objetivos dirigidos a los usuarios, 2) a las organizaciones prestadoras de servicios de salud, 3) a la población en general y 4) al sistema de salud, entre los del grupo 2 y 4, se encuentran dos objetivos simbióticos relacionados con los procesos, estos son:

“Arraijar la calidad y la mejora continua en la cultura de las organizaciones

e

Introducir procesos de mejora continua en todos los niveles del sistema que conduzcan hacia una mayor calidad con mucho menos desperdicio”

Además, en el programa de la Cruzada por la Calidad, se tienen tres estrategias para alcanzar la visión propuesta: 1) impulso al cambio, 2) aprendizaje y respaldo y 3) sustentación. Asimismo, cada estrategia tiene líneas de acción organizadas en cuatro niveles de acuerdo a los grupos objetivo mencionados anteriormente (usuarios, organizaciones, etc.) haciendo un total de 70 líneas de acción, que darán origen a un plan de acción específico. El esquema sintético de la cruzada nacional por la calidad de los servicios de salud se ilustra en la imagen 3.2:

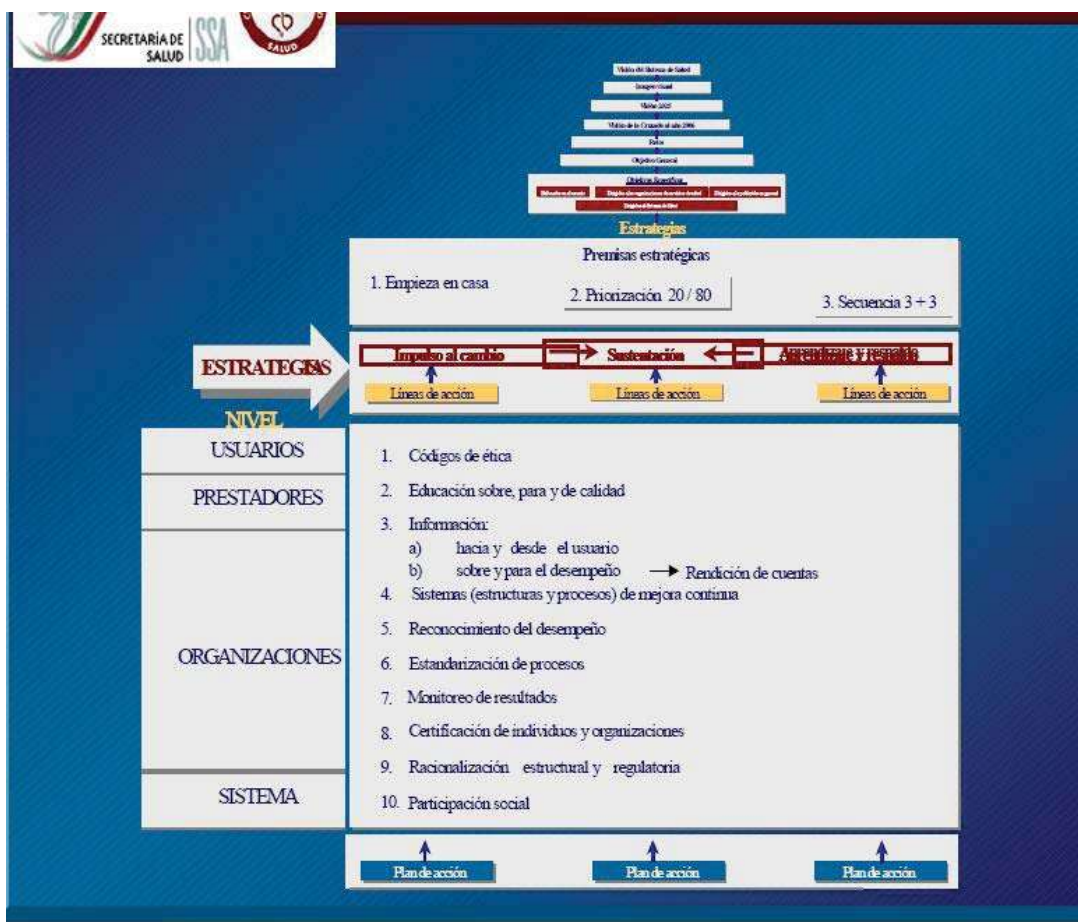
Imagen3.2: Esquema sintético de la cruzada nacional por la calidad de los servicios de salud



Fuente: Íbidem

A su vez, para estas líneas de acción se identificaron diez factores clave que agrupan a las líneas de acción, estos y su relación con las estrategias puede verse en la figura 3.3.

Imagen3.3: Factores clave de la Cruzada



Fuente: Íbidem

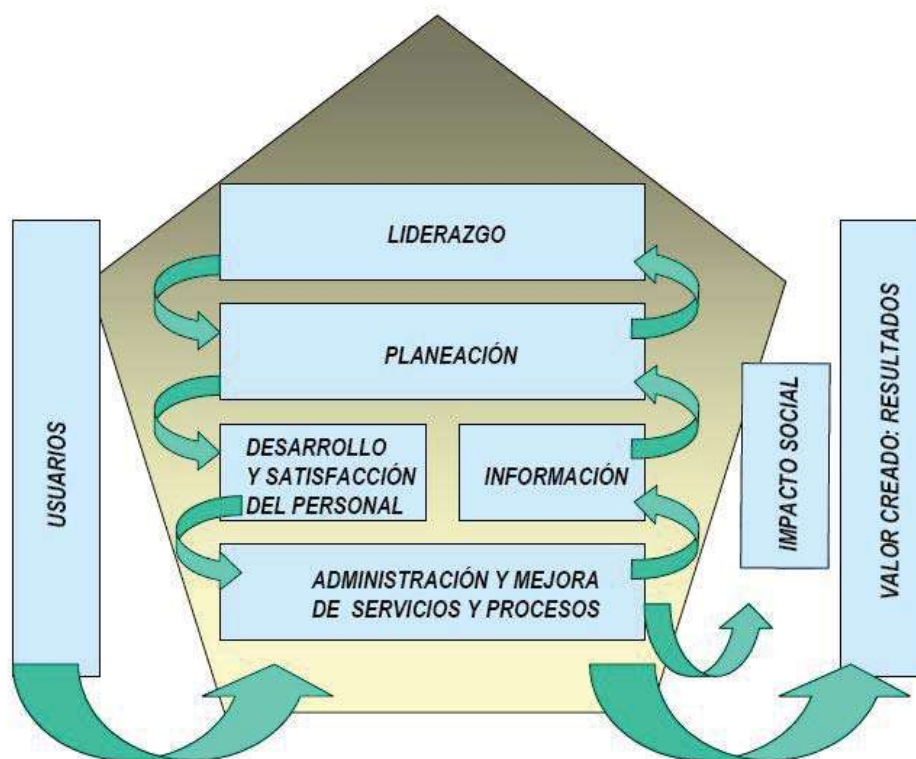
El factor 4 relativo a los sistemas (estructuras y procesos) de mejora continua, se sugiere propiciar que en todos los niveles de las instituciones y de manera coordinada, se cuente con sistemas de mejora continua de la calidad como instrumentos de gestión. Considerando las condiciones particulares y que demuestren su efectividad a través del impacto en la salud de la población a la que atiende, así como a la satisfacción de los usuarios y el personal. Además llevar a cabo la gestión directiva y operativa de la mejora de la calidad como parte de un sistema interinstitucional para las áreas y procesos críticos tanto de atención, estratégicos, como de apoyo²³. Por su parte, en el factor 6, relativo a la estandarización de procesos, el

²³ Los procesos estratégicos están relacionados con el cumplimiento de la Misión, sus resultados impactan directamente en los usuarios y en el desempeño global de la unidad, mientras que los procesos de apoyo son aquellos facilitadores de los procesos estratégicos.

diagnóstico referente a este rubro indica que aunque algunos procesos de apoyo a la atención han sido estandarizados, no se ha tomado en cuenta la perspectiva de los propios profesionales de la salud y no se ha considerado la posibilidad de contar con el apoyo de recursos tecnológicos de bajo costo que agilicen la ejecución de estos procesos. Se propone contar con guías para el diseño, ejecución y evaluación de los principales procesos de apoyo a la atención, las cuales serán una ayuda para la gestión directiva de la calidad.

Otra referencia acerca de cómo se ha visualizado el mejoramiento de la calidad de los servicios de salud es la propuesta de Modelo de Gestión de la Calidad de la Secretaría de Salud, misma que puede ser consultada en el manual para participar en el premio nacional de calidad de los servicios de salud 2006, el esquema del Modelo de Gestión de Calidad se ilustra en la imagen 3.4:

Imagen3.4: Modelo de Gestión para la Calidad propuesto por la Secretaría de Salud para participar en el premio nacional de calidad de los servicios de salud 2006



Fuente: Secretaría de Salud. Manual para participar en el Premio Nacional de Calidad. 2006

El Modelo está fundamentado en los siguientes principios:

1. Enfoque al usuario. Lo cual implica tener presente al usuario al diseñar y ejecutar actividades.
2. Prevención. Tomar acciones en el presente para asegurar el futuro, es decir, actuar antes de que los resultados se den.
3. Trabajo en equipo. Reconocer que la calidad no puede darse si se trabaja individualmente, es cuestión de colaboración entre los involucrados.
4. Medición. Los que no se mide no se puede mejorar
5. Mejora continua. Nada puede considerarse terminado o mejorado en forma definitiva, siempre existe la posibilidad de mejorar algo.

Asimismo, los criterios de evaluación que explican el modelo son:

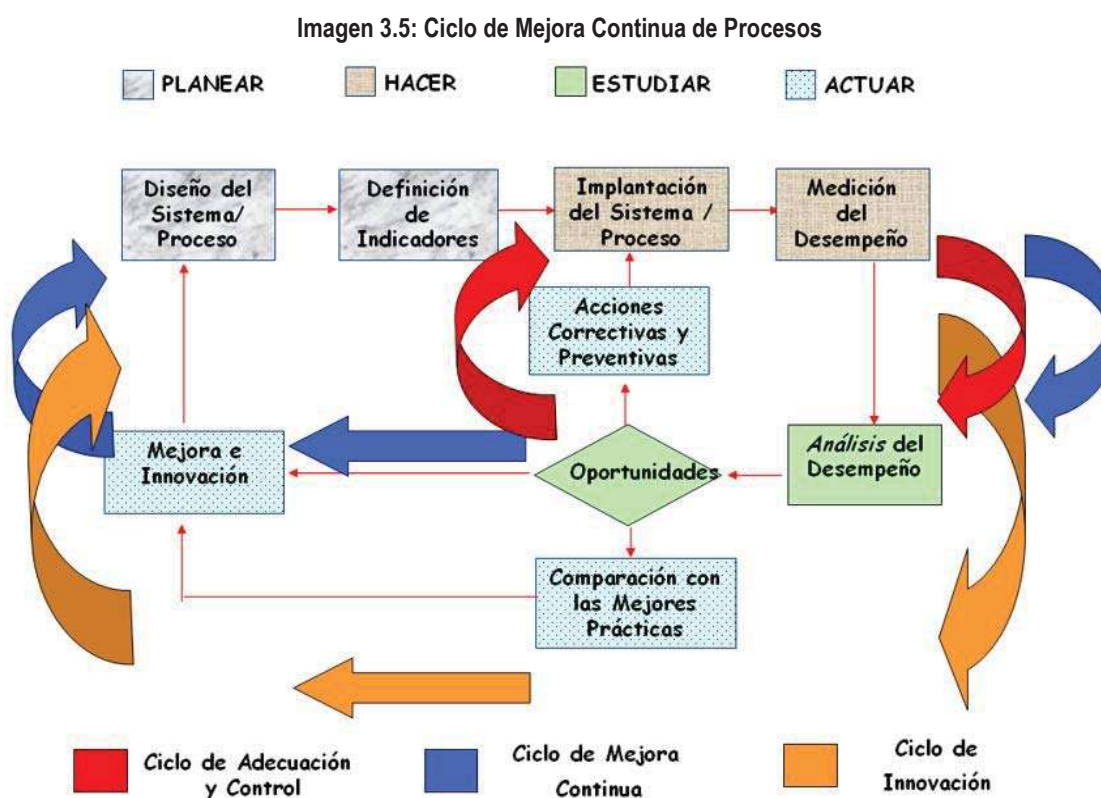
1. *Usuarios*. Conocimiento de las necesidades y expectativas de los usuarios, así como la evaluación del nivel de satisfacción de los mismos.
2. *Liderazgo*. Participación directa y compromiso de los directivos en el diseño, implantación y evaluación del proceso de mejora.
3. *Desarrollo y satisfacción del personal*. Existencia de un sistema para lograr el desarrollo del personal durante su vida laboral, así como favorecer su satisfacción.
4. *Administración y mejora de servicios y procesos*. Existencia de un sistema de diseño, medición, control y mejora de procesos, definiendo cadenas para la creación de valor desde el proveedor hasta el usuario.
5. *Planeación*. Aseguramiento de la existencia de un sistema para la definición de objetivos y estrategias en la unidad de servicios de salud.
6. *Información*. Existencia de un sistema para obtener, estructurar, comunicar y analizar la información.
7. *Impacto social*. La unidad contribuye al desarrollo de su entorno y la promoción de una cultura de calidad en la comunidad.
8. *Valor creado*. Desempeño de la unidad, niveles y tendencias en la creación de valor para sus grupos de interés.

En relación al criterio 4, la evaluación de procesos incluye los diferentes métodos y procedimientos para evaluar a un sistema en función de los procesos que se desarrollan en su interior, con el objetivo de lograr

el óptimo aprovechamiento de los recursos con que se cuenta²⁴. Por lo que en el subcriterio 4.2 referente al rediseño de los procesos de apoyo, la Secretaría de Salud recomienda:

1. Especificar la definición de procesos de apoyo en base a su contribución a los procesos estratégicos.
2. Indicar de qué manera se asegura el logro de los niveles y estándares de desempeño.
3. De qué manera se identifican y priorizan las oportunidades de mejora en base al análisis de desempeño y a sus metas.
4. La integración de la metodología de mejora continua en estos procesos.
5. Así como el diseño de los indicadores de efectividad y eficiencia de los procesos de apoyo.
6. La descripción de los ciclos de mejora de sus procesos de apoyo, y
7. La manera en que son aplicadas las mejoras para optimizar los procesos.

Todo lo anterior aplicando el ciclo de mejora continua Shewhart-Deming (Planificar, Hacer, Estudiar/Verificar y Actuar o PDSA/PDCA Cycle), cuyas fases de desarrollo ilustran en la imagen 3.5.



Fuente: Secretaría de Salud

²⁴ Barquín M. Dirección de Hospitales. 7ª ed. McGraw Hill. 2003. pp. 239-241

Cada una de las etapas que se ilustran en la figura 3.5 se describen a continuación:

Diseño del Sistema/Proceso. Se define el propósito y alcance del sistema o proceso que se desea mejorar, teniendo como referencia el estado real del proceso.

Definición de indicadores. Como su nombre propone, habrán de diseñarse y construirse indicadores que evalúen la eficiencia o eficacia del proceso en una situación que responda a las necesidades requeridas.

Implantación del sistema/proceso. Etapa en que se inician las intervenciones para mejorar el sistema o proceso.

Medición del desempeño. Aplicación de los instrumentos que miden el desarrollo de las intervenciones para la mejora del sistema o proceso.

Análisis del desempeño. Etapa en la que se contrastan los datos de la medición sobre las acciones de implantación contra los planteados en el enfoque del sistema o proceso, utilizando para ello alguna de las herramientas de calidad que permitan el análisis de la situación. De este análisis se toman decisiones.

Acciones correctivas y preventivas. Etapa en la que se realizan adecuaciones en la implantación del sistema o proceso, cuando se identifica un área de oportunidad en la cual aun no se cumple con el enfoque diseñado o identificado acciones que salen de control. Este ciclo se repite hasta alcanzar el estándar planteado.

Mejora e innovación. Etapa en la que se ha alcanzado el estándar y se decide rediseñar el enfoque original.

Comparación con las mejores prácticas. Etapa en la que se busca una organización con procesos semejantes para reproducir alguna de las etapas del sistema o proceso.

Problemas y factores que dificultan la implantación de un modelo de gestión de calidad

Por otra parte, a través de la experiencia y las evaluaciones se reconoce que entre las problemáticas y retos principales para la implantación de un modelo de gestión de calidad están:

- ⇒ La percepción de mala calidad de los servicios de salud por la población.
- ⇒ La alta variabilidad del nivel de calidad técnica.
- ⇒ La heterogeneidad de los niveles de calidad.
- ⇒ Información carente o poco confiable sobre el desempeño de los servicios de salud.

Además, como factores generadores de hechos y retos se encuentran:

- ⇒ Carencia de una formación gerencial del personal directivo, lo cual produce un liderazgo deficiente.
- ⇒ Insuficiente gestión directiva para alinear la estructura y procesos hacia resultados de calidad.
- ⇒ Existencia de una cultura de medición para informar, no para decidir.
- ⇒ Inexistencia y desconocimiento de indicadores de calidad de los servicios de salud.
- ⇒ Poca o nula confiabilidad en los resultados de las encuestas de satisfacción.
- ⇒ Mínimos incentivos para un alto desempeño.
- ⇒ Regulación insuficiente para garantizar la existencia de insumos y servicios de calidad.
- ⇒ Desarrollo insuficiente de procesos de acreditación y certificación de profesionales y establecimientos.
- ⇒ Subdesarrollo de políticas y gestión de recursos humanos.
- ⇒ Desfase entre la formación de recursos humanos y las instituciones de salud
- ⇒ Inexistencia de espacios para la discusión de los problemas y soluciones en materia de calidad.

Así como la falta de recursos o insumos, la cual con frecuencia se aduce como pretexto de la mala calidad, sin reconocer que también lo son los factores arriba mencionados.

Por otra parte, de acuerdo con información de la Dirección General de Calidad y Educación en Salud de la Secretaría de Salud, las acciones por mejorar la calidad de los servicios de salud continuarán como política de Estado. Además, aunque aún no se ha dado a conocer el Programa Nacional de Salud 2007-2012, el

Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, presentado el pasado 31 de Mayo, en su apartado relativo al tercer eje rector, *igualdad de oportunidades*, contempla para el área de la salud, alcanzar el objetivo 5, que se enuncia de la siguiente manera:

**“Brindar servicios de salud eficientes, con calidad,
calidez y seguridad para el paciente”**

Asimismo, en este mismo documento, como parte de las estrategias para “*brindar servicios de salud eficientes, con calidad, calidez y seguridad para el paciente*”, se considera implantar un sistema integral y sectorial de calidad de la atención, con las siguientes características:

- ⇒ Enfoque de calidad total
- ⇒ Mejora continua
- ⇒ Adopción de modelos de excelencia (Benchmarking)

Con lo que se pretende desarrollar la calidad técnica y la calidad percibida de los servicios de salud.²⁵

Además se reconoce que persisten grandes desigualdades en la calidad de los servicios de salud, debido a la falta de modernización de la infraestructura, insuficiencia de insumos, déficit del personal médico y paramédico, desabasto de medicamentos. También, se señala que el incremento de los recursos financieros no basta para elevar la calidad de los servicios de salud. Que se requiere compromiso del personal médico, de enfermería, entre otros. Y que es precisamente el sector público en donde se registra el mayor número de quejas de los usuarios con respecto al trato poco amigable del personal.

Las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TICs) como apoyo para la gestión de la calidad en el sector salud

La Secretaría de Salud, en su papel rector del Sistema Nacional de Salud ha buscado, a través de la Dirección General de Tecnologías de la Información, dependiente de la Subsecretaría de Administración y Finanzas, conducir y evaluar las políticas y normatividad en materia de recursos informáticos apoyando a

²⁵ Presidencia de la República Mexicana. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. pp. 160-176

las diferentes unidades para que se incorpore el uso de estos de manera que sean aprovechados para mejorar el desempeño, en la búsqueda de la equidad y en la mejora de la calidad de la atención²⁶.

La Dirección General de Tecnologías de la Información, refiere que la incursión de las tecnologías de información y comunicaciones en las diferentes unidades de salud ha sido heterogénea, con una marcada diferencia entre los entornos urbanos y rurales, con problemas por la falta de mantenimiento y la obsolescencia, forma de operación aislada y con adaptaciones a las características socioeconómicas de cada contexto, diferencias entre los inventarios y la capacidad instalada y ubicación, pero sobretudo su concentración para labores administrativas y de información de actividades y resultados. Por lo que existe una necesidad de utilizar las tecnologías de información para²⁷:

- ✓ Fortalecer los servicios
- ✓ Apoyar la cobertura universal, con programas de telesalud y evitar traslados innecesarios
- ✓ Apoyar las tareas de referencia de pacientes
- ✓ Atender problemas de salud pública
- ✓ Fortalecer la vigilancia epidemiológica
- ✓ Mejorar la gestión y evaluación, incluyendo la del personal
- ✓ Así como fortalecer la capacitación

Es decir, como se mencionó al inicio de esta tesis, no se trata sólo de la incursión de las tecnologías, sino de que éstas sean reguladas para explotar su potencial en ese sentido. De manera particular en aquellas instituciones donde se presentan procesos administrativos complejos para atender a la población, saturación, duplicación de estudios, lo que hace necesario una reingeniería de procesos, tanto técnicos como administrativos, con apoyo de las tecnologías de la información y las comunicaciones.²⁸

Actualmente, el inventario de sistemas de información de la Secretaría de Salud da cuenta de que los sistemas de cómputo de esta Institución, buscan apoyar funciones como la vigilancia epidemiológica, el registro patológico, el seguimiento de programas y políticas prioritarias de salud, facturación, manejo de almacenes, registro, costos, manejo de nómina, planeación y seguimiento del desempeño de las unidades

²⁶ Secretaría de Salud. Normatividad de la Dirección General de Tecnologías de Información. Op. Cit.

²⁷ Secretaría de Salud. Plan de Desarrollo 2001-2006 de la Dirección General de Tecnologías de Información. P. 4

²⁸ Ibidem pp. 3-6

de salud, alta, seguimiento y administración de los derechohabientes y la población abierta, principalmente. Además existe un espacio de discusión de experiencias, intercambio y desarrollo de software, denominado “club de software”, el cual tiene como finalidad *“compartir herramientas informáticas para beneficio del Sector Salud, que faciliten y mejoren la realización de sus tareas, sean éstas relacionadas con la administración, la capacitación, la difusión de información, o bien la prestación de servicios de salud”*²⁹, de manera gratuita, buscando que estos sean desarrollados en plataformas sin propietario tecnológico para evitar dependencia.

Entre los indicadores para la evaluación de los planes de desarrollo de la Dirección de Tecnologías de Información, se incluyen algunos relacionados el número de cursos que se imparten, videoconferencias, digitalización de información y disponibilidad de la misma, cobertura, retroalimentación con los usuarios, infraestructura, uso de módulos en los sistemas administrativos, así como el número de teleconsultas. Como puede observarse, estos indicadores, se cuantifican pero prácticamente no valoran, para el usuario, qué impacto tienen las tecnologías e información y comunicaciones en relación a la atención que se presta y la mejora de la calidad cualitativamente. Por lo anterior, es necesario poner énfasis en este aspecto a la hora de aplicar las tecnologías para la reingeniería de procesos en cualquier sistema de cómputo que se pretenda desarrollar para el sector salud.

IV. LOS SERVICIOS DE SALUD EN MICHOACÁN

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define a la salud como un *“completo estado de bienestar físico, mental y social y no sólo la ausencia de enfermedad”*³⁰. La salud y el desarrollo están íntimamente relacionados, debido a que sin el primero las condiciones del segundo no pueden ser propiciadas. La salud es, entonces un eje fundamental del desarrollo del Estado de Michoacán, por lo que la revisión de aspectos como la organización, gestión y retos de los servicios de salud estatales, brinda una plataforma sobre la cual pueden identificarse situaciones y características que deben considerarse o hacia las que deben orientarse los esfuerzos de mejora de procesos y calidad. Por lo que el presente capítulo presenta una panorámica de los servicios de salud en el estado³¹.

²⁹ Ibidem

³⁰ B. Llor, Abad M. A, García.M. Nieto. J. 1995. Ciencias psicosociales aplicadas a la salud. Madrid: Interamericana McGraw-Hill. P. 187

³¹ La mayoría de la información que se presenta está sustentada en el capítulo de salud y desarrollo del informe de desarrollo humano de Michoacán, aun no publicado y elaborado por las maestras Josefina Valenzuela Gandarilla, María Luisa Sáenz Gallegos, Ma. Martha Marín Laredo y María Cristina Martha Reyes Guzmán de la Facultad de Enfermería de la Universidad Michoacana en el año 2007.

Para atender a la problemática de salud de los michoacanos, la Secretaría de Salud de Michoacán funge como la entidad coordinadora del sistema estatal de salud. Sus objetivos y responsabilidades se encuentran especificados ampliamente en la Ley de Salud del Estado de Michoacán. Asimismo, el estado se encuentra regionalizado en ocho jurisdicciones sanitarias, con sus cabeceras administrativas, en orden de jurisdicción, en Morelia, Zamora, Zitácuaro, Pátzcuaro, Uruapan, La Piedad, Apatzingán y Lázaro, Cárdenas, respectivamente (Mapa 4.1).

[illegible]

Con respecto a la infraestructura con la que cuenta el sector salud en Michoacán para atender las necesidades de la población, en el año 2005 se reporta que se tenía un total de 975 unidades, de las cuales 490 eran responsabilidad de la Secretaría de Salud de Michoacán y 485 de la seguridad social.

Cuadro 4.1:Infraestructura en el Sector Salud en Michoacán en 2006

Institución	1er Nivel		2º Nivel	Total
	Fijas	Móviles		
SECRETARIA DE SALUD	389	83	18	490
IMSS R. ORDINARIO	43	-	9	52
IMSS OPORTUNIDADES	334	-	5	339
ISSSTE	56	-	9	65
DIF	26	-	0	26
MARINA	2	-	1	3
TOTAL	850	83	42	975

Fuente: Secretaría de Salud de Michoacán. Carpeta de Información Básica 2006

Como puede observarse del cuadro 4.1, 850 unidades de primer nivel de atención³² son fijas y 83 son de tipo móvil, mientras que para el segundo nivel de atención³³ se tienen 42 unidades. Para el año 2007, se reporta que se abrirán 9 hospitales regionales y que se incorporarán 121 nuevas unidades, que beneficiarán a más del 10% de la población³⁴.

Las actividades sustantivas (mantener y mejorar las condiciones de salud de la población michoacana) y adjetivas de los servicios de salud se organizan en torno a los programas prioritarios de salud, cuyos ejes rectores y orientaciones, a su vez, se encuentran indicados en las metas de los programas federal y estatal de salud. En el cuadro 4.2 se presenta una relación de los programas prioritarios operados en el estado y su relación con las estrategias trazadas en el PNS 2001-2006, lo cual permite una lectura sencilla de las prioridades estatales en materia de salud.

Cuadro 4.2: Estrategias nacionales para mejorar y mantener la salud de la población y programas operados para su realización en Michoacán en 2007

Estrategia del PNS 2001-2006	Programa prioritario
Vincular la salud con el desarrollo económico y social	Programa de Promoción de la Salud Programa educación Saludable Programa de Comunidades Saludables

³² Recursos humanos, en infraestructura y tecnológicos y los programas y actividades destinados a desarrollar las acciones de promoción, prevención, atención y rehabilitación de la salud en régimen ambulatorio, de atención domiciliaria, emergencia y urgencia.

³³ Recursos humanos, en infraestructura y tecnológicos para la atención médica en régimen de hospitalización, continua o parcial, de diversos niveles de complejidad. Incluye especialidades clínicas, quirúrgicas y odontológicas

³⁴ Agencia de noticias reporte digital de Michoacán. Hospitales regionales beneficiarán a 470 mil michoacanos habitantes de áreas rurales. 05/07/2007. disponible en <http://www.reportedigital.com.mx/noticias/estado/6554.html> . consulta el 05/10/2007

	Programa de Ampliación de Cobertura Programa de Oportunidades Programa de Seguro Popular Programa de Salud Comunitaria Programa de Salud para Migrantes " <i>Vete Sano Regresa Sano</i> "
Reducir los rezagos en salud que afectan a los pobres	Programa "Inicio Saludable Arranque Parejo en la Vida" Programa de Vacunación Universal Programa de Planificación Familiar Programa Salud y Nutrición de los Pueblos Indígenas Programa de Prevención y Control de la Picadura de Alacrán Programa de Atención a la Salud del Niño Programa de Atención de la Adolescencia Programa de Urgencias Epidemiológicas y Desastres
Enfrentar los problemas emergentes mediante la definición explícita de prioridades	Programa de salud del Adulto y el anciano Programa de Prevención, Tratamiento y Control de la Diabetes Mellitus Programa de Prevención, Tratamiento y Control de la Hipertensión arterial Programa de Vacunación en el Adulto Programa de Prevención y Control de Cáncer Cérvico Uterino Programa de Prevención y Control de Cáncer Mamario Programa de Prevención y Control de las Infecciones de Transmisión Sexual VIH/SIDA Programa de Atención en Salud Mental Prevención y Control de las Adicciones
Desplegar una cruzada por la calidad de los servicios de salud	Programa Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios
Brindar protección financiera en materia de salud a toda la población	Programa de Seguro Popular IMSS Oportunidades
Fortalecer el papel rector de la Secretaría de Salud	Programa del sistema de Vigilancia Epidemiológica Programa de Regulación de Servicios de Salud Programa de Insumos para la Salud
Fortalecer la inversión en recursos humanos, investigación e infraestructura en salud	Programa de Enseñanza y Capacitación.

Fuente: Elaborado a partir de los informes de Gobierno de la administración de Lázaro Cárdenas Batel y las estrategias del PNS 2001-2006

La participación de los municipios y las comunidades en el cuidado de su salud, por medio de los programas prioritarios y la formación de consejos comunales permite vislumbrar que el sistema de salud estatal está transitando hacia un modelo que se basa en la prevención y promoción de la salud, no en la curación, aunque hasta el momento no existen estudios, ni publicaciones de seguimiento ni del impacto al respecto. Asimismo, puede verse que la atención hacia los grupos vulnerables³⁵ se lleva a cabo a través de programas y ferias de salud operados en coordinación con escuelas, comités estatales y los sectores

³⁵ La Norma Oficial Mexicana NOM-190-SSA-1999: identifica como grupos vulnerables a las niñas, niños, adolescentes mujeres embarazadas o personas en situaciones especialmente difíciles, adultos mayores; hombres y mujeres con enfermedad física o mental discapacitante, o en desventaja física, económica o cultural.

público y privado. Por otra parte, la atención a los padecimientos emergentes se realiza a través de la implantación de programas y jornadas quirúrgicas o de especialidad. En materia de salud reproductiva y sexual se dirigen acciones promoviendo el uso de métodos de planificación familiar, el desarrollo integral y el deporte, así como consultas para evitar embarazos no deseados. Además, se atienden a las localidades afectadas por desastres naturales mediante la organización de brigadas y grupos de protección civil especiales. Las enfermedades crónico degenerativas, son atendidas mediante la detección y promoción de estilos de vida saludable, así como la detección de personas con alto riesgo de padecerlas. También se realizan acciones para la prevención de las adicciones, como clínicas de tabaquismo, jornadas, así como la creación de centros estatales especializados en rehabilitación en salud mental y adicciones y semanas de salud. También se encuentran establecidos programas de detección y control de enfermedades de transmisión sexual, VIH/SIDA y certificación de la calidad de la sangre, entre otros.

Gestión de la calidad

En relación a la gestión de la calidad de los servicios de salud estatales, el artículo 6º, del capítulo I, título segundo, relativo al sistema estatal de salud de la Ley General de Salud establece como primer objetivo de éste:

“I.- Proporcionar servicios de salud a toda la población del Estado y mejorar la calidad de los mismos, atendiendo a los problemas sanitarios prioritarios del Estado y a los factores que condicionen y causen daños a la salud con especial interés en las acciones preventivas”

En consonancia con la política nacional de la calidad de los servicios de salud, Michoacán se apega a los lineamientos establecidos en el programa “*Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud*”, los cuales fueron abordados previamente y cuyas características y actividades en el estado incluyen principalmente:

- ✓ El impulso de un Modelo de gestión centrado en el usuario
- ✓ El impulso de un modelo de atención basado en la prevención y promoción de la salud.
- ✓ La implantación de sistemas de mejora continua
- ✓ La implantación de sistemas de gestión de la calidad con instrumentos como: la certificación de hospitales o servicios de los hospitales, la acreditación del personal médico y paramédico, operación del programa de estímulos a la calidad del desempeño del personal de salud.

- ✓ Capacitación del personal en enfoques interculturales, sensibilización para la atención a la población migrante, realización de cursos-taller de inducción al ejercicio profesional en áreas de la salud y el cumplimiento de la NOM 168 correspondiente al expediente clínico

Asimismo, en la participación para la creación de una cultura de calidad, construcción de indicadores de la misma y rendición de cuentas, se trabaja en coordinación con otras entidades como la Comisión Estatal de Arbitraje Médico (COESAMM), el Consejo Estatal de Aval Ciudadano y comités locales, además el Comité Estatal de Innovación y Calidad para la valoración de la atención³⁶. Así como de la Dirección General de Evaluación del Desempeño en salud, por medio del Acuerdo de coordinación para la ejecución del Programa de Calidad, Equidad y Desarrollo en Salud (PROCEDES), el cual además de apoyar proyectos de salud para sectores marginados, impulsa la conformación de proyectos de innovación para el desarrollo y reestructuración organizativa de los Servicios Estatales de Salud en el marco del Modelo Integrado de Atención en Salud (MIDAS), así como para la capacitación gerencial y acreditación en calidad para la gestión eficiente y transparente de recursos públicos destinados a la salud. Entre los objetivos de este acuerdo están³⁷:

1. Impulsar acciones encaminadas al Fortalecimiento de la Oferta de los Servicios de Salud en apoyo al Sistema de Protección Social en Salud (SPSS).
2. Lograr mayor equidad con calidad en la aplicación del Catálogo de Servicios Esenciales en Salud (CASES) en la población que ha sido afiliada al SPSS.
3. Impulsar acciones de infraestructura, equipamiento, abasto, evaluación y calidad para el apoyo a la acreditación y certificación de las unidades de atención del SPSS.
4. Incrementar el acceso, equidad y calidad de los servicios de salud con dignidad a grupos indígenas.
5. Incrementar la eficiencia de las áreas centrales de "SALUD" y los Servicios Estatales de Salud.
6. Desarrollar modelos de innovación en servicio que permitan disminuir los rezagos en salud.

³⁶ Elaborado a partir de información del documento de seguimiento de estrategias del PNS 2001-2006 y los informes de Gobierno del Estado de Michoacán 2003-2005.

³⁷ Diario Oficial de la Federación. ACUERDO de Coordinación que celebran la Secretaría de Salud y el Estado de Michoacán de Ocampo, para la ejecución en la entidad del Programa de Calidad, Equidad y Desarrollo en Salud (PROCEDES). pp. 13-15. Disponible en <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/amich100706.pdf> . Consulta el 10/10/2007

7. Impulsar acciones encaminadas a la construcción, mantenimiento, rehabilitación de obras nuevas y Unidades de Especialidades Médicas (UNEMES).
8. Impulsar modelos de operación en redes de servicio, con apoyo de sistemas informáticos y de telemedicina.

Lo más significativo de la operación de los servicios de salud y su gestión, es que se requiere un gran esfuerzo, no sólo de las Instituciones de Salud, sino de toda la población, para que su impacto sea positivo en la salud de la misma. Entonces, la gestión de la calidad del sistema de salud estatal resulta un proceso complejo, que requiere de muchas capacidades y voluntades, así como una gran visión y sensibilidad hacia las necesidades sociales.

Particularmente, las problemáticas y factores identificados en el diagnóstico situacional de la gestión en diferentes hospitales de Morelia, incluyendo el Hospital General “Dr. Miguel Silva”, fueron³⁸:

- ⇒ Diferencias de morbilidad en función a las clases sociales.
- ⇒ Modelo de atención estatal orientado a la ampliación de la cobertura a expensas de la seguridad social.
- ⇒ Atención médica deficiente a la población económicamente activa, quienes soportan el sistema de seguridad social.
- ⇒ Enfoque curativo.
- ⇒ Limitada capacidad de infraestructura física para atender las demandas de la población.
- ⇒ Centralismo excesivo en la gestión hospitalaria.
- ⇒ Deficiencia de los mecanismos de medición y evaluación del desempeño del otorgamiento de los servicios de salud.
- ⇒ Carencia de planeación adecuada para la dignificación y profesionalización de los servidores públicos del área de la salud.
- ⇒ Evaluación de las unidades hospitalarias en base a los niveles de gasto autorizado y su respectiva asignación a programas y rubros presupuestarios, sin considerar criterios de eficiencia y efectividad para el logro de objetivos (cumplir con las expectativas de la población).

³⁸ Ponce de León B. Modelo de Planeación Estratégica y Organización de los Hospitales de Morelia. Tesis de Maestría en Administración. UMSNH. 2006.

- ⇒ Mayor preocupación de los administradores hospitalarios por utilizar los recursos autorizados, que en cumplir con los objetivos institucionales.
- ⇒ Política de uso de recursos restrictiva que propicia la inflexibilidad y lenta capacidad de respuesta de las instituciones hospitalarias.
- ⇒ Uniformidad de las reglas internas de administración de recursos humanos, materiales y financieros que limitan la adaptación a las circunstancias particulares de la gestión pública hospitalaria.
- ⇒ Inexistencia de incentivos para ofertar servicios diferenciados para la población objetivo.
- ⇒ Falta de consenso de las obligaciones y compromisos de las instituciones públicas en cuanto a estándares de calidad de la atención y servicios que deben ofertar.
- ⇒ Insuficiente o nulo uso de parámetros de desempeño para evaluación de la gestión hospitalaria y los programas de atención.
- ⇒ Falta de sistemas de información electrónicos que concentren la evaluación cualitativa y cuantitativa de la gestión hospitalaria en cuanto a gastos, eficiencia y efectividad.
- ⇒ Heterogeneidad en la captación y procesamiento de datos de atención a la salud.
- ⇒ Heterogeneidad del empleo de medios informáticos y en la capacitación de recursos humanos en esta materia.
- ⇒ Dificil determinación y conocimiento de los costos unitarios por servicio.
- ⇒ Dificil determinación y conocimiento de parámetros representativos de satisfacción de los usuarios con los resultados de las instituciones hospitalarias, en cuanto a calidad y oportunidad de los resultados.
- ⇒ Inexistente interacción entre el gobierno y los ciudadanos para evaluar y discutir el cumplimiento de los objetivos y las tareas de los hospitales de Morelia.
- ⇒ Falta de una administración diferenciada que se adapte a la naturaleza y condiciones particulares de los hospitales.
- ⇒ Falta de formulación de proyectos prioritarios de atención médica e investigación, en base al diagnóstico de salud de la población objetivo.

Retos de los servicios de salud en el Estado

Michoacán está situado en la zona centro - sur del país, tiene una superficie que representa el 3.0 por ciento de la superficie total de la República Mexicana (59,864 km²), tiene 113 municipios, con 9,686 localidades, su densidad de población de 70.8 X hbtes. x Km². Para el año 2006 su población total fue de

4'238,900 habitantes, de los cuales 1'953,709 están considerados como población urbana, distribuida en 23 localidades y 2'285,191 como población rural. De esta última cifra, con respecto a la dispersión poblacional, 887,626 es población concentrada en 158 localidades y 1'397,565 es población dispersa en 9,505 localidades. La población hablante de lengua indígena es de 148,361 y los migrantes de 258,573³⁹.

Entre los factores socio-culturales y económicos que impactan negativamente en la salud de la población michoacana están presentes todos aquellos que caracterizan a una población con índices de pobreza y rezago⁴⁰ con cifras superiores a la media nacional, es decir, localización geográfica difícil y alta dispersión poblacional que dificulta el acceso a los servicios de salud, bajo nivel educativo, diferencias de género, violencia y diferencias entre etnias, los cuales condicionan alteraciones en la salud por la ignorancia que conlleva a la pobreza y esta a su vez, a la presencia de adicciones, desintegración familiar, falta de empleo, falta o ausencia de saneamiento en las viviendas (piso de tierra, convivencia con animales domésticos) y servicios básicos (electricidad, agua entubada, drenaje), predominio del fecalismo al aire libre, potencializando que ocasionan mayor propensión a padecer enfermedades como las parasitosis, la desnutrición, las infecciones respiratorias y diarreicas. En Michoacán en las últimas tres décadas el desempleo creció, los salarios diarios bajaron acompañando a esto la reducción del empleo y el ingreso de las personas.⁴¹ La pobreza es mayor en las zonas rurales que en las urbanas, considerándose como los pobres más pobres del país. Lo anterior permite afirmar que los michoacanos pobres viven en pequeñas poblaciones o dispersos por el territorio del estado.

Con respecto a la cobertura de los servicios de salud, durante casi una década ésta se ha ido incrementando en una magnitud de poco más del 1,000%, como ilustra el cuadro 4.3

Cuadro 4.3: Población con y sin acceso a servicios de salud en Michoacán de 1997-2006

Año	Población		
	Total	Con acceso	Sin acceso
1997	3,946,245	3,809,112	137,135
1998	S/D	S/D	S/D

³⁹ Secretaría de Salud de Michoacán. Subdirección de Planeación. Carpeta Básica de Información 2006

⁴⁰ De acuerdo con el Consejo Estatal de Población, de los 4 millones 240 mil personas que se tienen registradas actualmente en Michoacán, 50 por ciento se encuentra en situación de pobreza, mientras que la tercera parte está en pobreza extrema y forma parte de los cinturones de marginación debido a factores como la migración, la falta de empleo y de educación, entre otros,

⁴¹ INEGI. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán. 2005. p. 129

1999	S/D	S/D	S/D
2000	4,240,927	4,229,346	11,581
2001	4,299,956	4,291,397	8,559
2002	4,357,309	4,348,594	8,715
2003	4,198,576	4,190,179	8,397
2004	4,213,737	4,205,258	8,479
2005	4,227,017	4,202,193	13,816
2006	4,238,900	4,225,229	13,671

FUENTE: Secretaría de Salud de Michoacán.
Carpetas de Información Básica 1997-2006 y Diagnóstico de salud 2006

Sin embargo, aunque en el estado se han mostrado avances significativos en este parámetro, los esfuerzos realizados no han sido suficientes, ya que en 2006, la cobertura estatal estuvo por debajo de la media nacional 20 puntos porcentuales, esto debido a la ausencia de clínicas o centros de salud en las localidades cuyas poblaciones son menores de 2500 habitantes y que representan el 97.86% del total de las 9,686 localidades por las que está conformado el estado (ver cuadro 4.4) y que por lo general se encuentran apartadas de las vías de comunicación⁴².

Cuadro 4.4: Localidades, Población con y sin acceso a servicios de salud en Michoacán en 2006

Población	Localidades 2006		Total	Población 2006	
	Número	%		Con Cobertura	Sin Cobertura
1-499	8,746	90.3	572,251	559,818	12,433
500-2499	759	7.83	825,314	824,076	1,238
2500-4999	100	1.03	396,337	396,337	-
5000-14999	58	0.6	491,289	491,289	-
15000-49999	14	0.14	426,433	426,433	-
50000-99999	6	0.07	467,551	467,551	-
100 MIL Y MÁS	3	0.03	1,059,725	1,059,725	-
TOTAL	9686	100	4,238,900	4,225,229	13,671

Fuente: Anuario Estadístico del Estado de Michoacán 2005. Proyección CONAPO 2006

Por otra parte, en lo que respecta a los indicadores de recursos humanos para la atención de la salud, Michoacán tuvo algunos avances significativos, ejemplo de ello es el indicador de enfermeras por cada 100,000 habitantes que pasó de ser de 64.5 enfermeras a 87.2 en el período de 2001 a 2005. Sin embargo

⁴² Secretaría de Salud de Michoacán. Diagnóstico de Salud, 2006

estos indicadores se siguen manteniendo por debajo de la media nacional, como puede apreciarse en el cuadro 4.5.

Cuadro 4.5: Indicadores de recursos materiales y humanos en Michoacán de 2000-2005

Año	Camas Censables		Médicos		Enfermeras		Enfermeras Por Médico	
	Media Nacional	Michoacán	Media Nacional	Michoacán	Media Nacional	Michoacán	Media Nacional	Michoacán
2000	57.3	30.1	90.4	58.1	123.6	64.5	1.4	1.1
2001	57.3	34.1	92.4	62.1	123.8	72.9	1.3	1.2
2002	57.2	33.9	94.7	64.9	124.7	78.1	1.3	1.2
2003	55.4	33.7	94.9	50.7	118.6	27	1.3	0.5
2004	56.6	34.4	101.5	75.6	131.3	85.7	1.3	1.1
2005	57.4	34.4	104.3	76	134.5	87.2	1.3	1.1

Fuente: Elaborado a partir de información de las carpetas básicas de información de la Secretaría de Salud de Michoacán 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 y 2005

En relación al género y la salud, las mujeres asisten con mayor frecuencia al médico. De acuerdo a las causas de egreso hospitalario que se reportan, se observa que la atención está más dirigida hacia el género femenino, lo anterior puede estar relacionado con que las mujeres asisten con mayor frecuencia al médico que los hombres⁴³.

Con respecto a la violencia, en el año 2003, el índice de violencia hacia la mujer estuvo por encima de la media nacional (21.5%), siendo del 25 % de mujeres que sufrieron de alguna clase de violencia en el hogar, causa significativa de enfermedades y muertes femeninas, por golpizas durante el embarazo, violaciones conyugales, abuso sexual en la niñez, abortos practicados en malas condiciones sanitarias, esterilizaciones forzadas, carencias alimentarias y escaso acceso a los servicios de salud.

Por otra parte, la población indígena, para el año 2005 existían 148,361 habitantes que hablan alguna lengua indígena. De la población de 5 años y más que habla otra lengua, el 89.75% habla Purépecha, el 3.86% Náhuatl y el 3.56% Mazahua, el resto de la población habla otra lengua, en 15 años se han dejado de hablar el zapoteco, el maya y el mixteco. Considerando que los grupos indígenas se ubican principalmente en el área rural y que en ésta, como se mencionó anteriormente, tanto los servicios de salud

⁴³ Secretaría de Salud de Michoacán. Subdirección de Planeación. Op. Cit

como la educación son menores, son más susceptible a padecer y expandir enfermedades y con ello a afectar el desarrollo de sus comunidades⁴⁴.

La población migrante representa un factor importante en la modificación del perfil epidemiológico de las comunidades en las que llegan a asentarse como lugar de tránsito o destino. Michoacán ocupa el segundo lugar en el país en migración. Las condiciones de salud están determinadas por el tipo actividad económica a la que se dedica el migrante, la agricultura es la industria con mayor riesgo en el Estado (28.8% de la superficie estatal es agrícola), en el país y en los Estados Unidos ya que genera accidentes que ocasionan discapacidades y/o la muerte y enfermedades que enfrentan los agricultores en riesgo. Otros factores son la falta de atención médica y prevención de enfermedades así como bajo nivel educativo y la predisposición genética a enfermedades entre las que se encuentran: la diabetes, cáncer, tuberculosis y otras enfermedades infecciosas, problemas dentales, oculares y exposición a pesticidas. Los problemas socio-culturales que más se presentan son el alcoholismo, la prostitución, la drogadicción. Los michoacanos por falta de los servicios de salud en los Estados Unidos descuidan su salud y las enfermedades tienden a postergarse por el alto costo de la medicina privada, por lo que en cuanto hay posibilidad regresan al país para ser atendidos a un menor costo. Las principales causas de morbilidad del mexicano en Estados Unidos son: enfermedades músculo-esqueléticas, lesiones traumáticas, problemas respiratorios, dermatitis, enfermedades infecciosas, cáncer, problemas oculares y exposición a pesticidas. Por otra parte, cada vez es mayor el número de michoacanos con problemas de obesidad, hipertensión, diabetes mellitus y otras enfermedades cardiovasculares, derivadas de consumos alimenticios y estilos de vida inadecuados, como los alimentos chatarra y comidas rápidas. Además el estado es una de las cuatro entidades que tienen mayor pérdida de mujeres por migración desencadenando problemas en la salud reproductiva (abortos, disminución en la lactancia materna, entre otros). Respecto a los migrantes internos durante los meses de enero a diciembre y periodos intermedios que llegan a Michoacán que se emplean como jornaleros agrícolas, habitan campamentos con deficiencias y carencias de servicios básicos (sanitario, agua potable, basureros, entre otros, malos hábitos de higiene y deficiente atención médica a esta población. La Secretaría de Salud, en coordinación con IMSS Oportunidades detectó que el 46% de la población jornalera migrante se enferma durante el primer mes de su llegada a la región de trabajo de las siguientes enfermedades: respiratorias, gastrointestinales, dermatológicas y músculo-esqueléticas. Por otra parte, la mortalidad es ocasionada por: tumores malignos, enfermedades del corazón, paro cardíaco,

⁴⁴ Ibidem. P. 40

signos y síntomas clínicos mal definidos, diabetes mellitus, enfermedades cerebro-vasculares, influenza y neumonía, enfermedades del hígado, accidentes y bronquitis crónicas.

Por último, el panorama epidemiológico de Michoacán representa un signo de la salud estatal, el cual se encuentra constituido por la mortalidad (de qué se mueren los michoacanos) y por la morbilidad (de qué se enferman los michoacanos). Por lo que los cuadros 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 presentan un resumen de las causas de morbilidad y mortalidad en Michoacán, tanto para los grupos de edad en general, como para grupos específicos, como la población infantil y la materna, las cuales constituyen indicadores del desempeño y logros de los sistemas de salud, como se comentó al inicio de este apartado.

Cuadro 4.6: 10 principales causas de mortalidad general en Michoacán en 2005

No. Prog.	Causa	No. de defunciones	Tasa *
1	Enfermedades del corazón	3,233	76.5
2	Diabetes Mellitus	2,868	67.8
3	Tumores malignos	2,613	61.8
4	Accidentes	1,767	41.8
5	Enfermedad cerebrovascular	1,138	26.9
6	Enfermedades del hígado	843	19.9
7	Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	731	17.3
8	Agresiones (homicidios)	687	16.3
9	Ciertas afecciones originadas en el período perinatal	539	12.8
10	Influenza y neumonía	499	11.8
	Subtotal	14,918	
	Las demás causas	5,596	
	TOTAL	20,514	485.3

*Tasa por 100,000 habitantes

Fuente: Secretaría de Salud 2005. Departamento de Estadística, Michoacán 2005

Como puede observarse, la población michoacana fallece principalmente por enfermedades crónico-degenerativas, homicidios y enfermedades infecciosas, en su mayoría prevenibles.

Cuadro no. 4.7: Principales causas de morbilidad general en Michoacán en 2005

No.	Causa	No de casos	Tasa*
1	Infecciones respiratorias agudas	1'053,439	249.21
2	Infecciones intestinales	165,190	39.07
3	Amibiasis intestinal	17,926	4.24
4	Otitis media aguda	21,585	5.1
5	Intoxicación por ponzoña de alacrán	27,036	6.39
6	Hipertensión arterial	12,161	2.87
7	Otras helmiasis	-----	-----
8	Diabetes mellitus	9,204	2.17

9	Candidiasis urogenital	15,755	3.72
10	Infecciones de vías urinarias	83,028	17.64
11	Úlceras, gastritis y duodenitis	56,471	13.35

*** Tasa por cada 1000 habitantes**

Fuente: Secretaría de Salud de Michoacán. Carpeta de información básica, 2005

En Michoacán están presentes entre las 10 primeras causas de morbilidad, las enfermedades infecto-contagiosas, propias de la pobreza, el hacinamiento y la carencia de saneamiento básico. Además de las crónico-degenerativas como la hipertensión y la diabetes mellitus que tiene como factor predisponente el estilo de vida. En concordancia con el desarrollo estatal, y aunque el cuadro anterior no lo indica, estas principales causas de morbilidad o de enfermedad de la población michoacana, son las que se han presentado en los últimos diez años, es decir, condiciones relacionadas con la pobreza y el rezago.

Cuadro 4.8: 10 principales causas de mortalidad infantil en Michoacán en 2005

No. Prog.	Causa	No. de defunciones	Tasa (1)
1	Ciertas afecciones originadas en el periodo perinatal	539	681.4
2	Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas	228	288.2
3	Accidentes	50	63.2
4	Enfermedades infecciones intestinales	45	56.9
5	Influenza y neumonía	40	50.6
6	Desnutrición y otras deficiencias nutricionales	22	27.8
7	Septicemia	21	26.5
8	Infecciones respiratorias agudas	12	15.2
9	Enfermedades del esófago	7	8.8
10	Parálisis cerebral y otros síndromes paralíticos	6	7.6
	Subtotal	970	
	Las demás causas	88	
	TOTAL	1058	1337.5

(1) Tasa por 100,000 nacidos vivos registrados

Fuente: Secretaría de Salud. Departamento de Estadística .2005. Michoacán

Del cuadro 4.8 una condición que es importante resaltar es que los menores de un año mueren por deficiencias en la nutrición, siendo la población con menos recursos económicos y marginada la más afectada, ya que este tipo de mortalidad infantil es propia de países en desarrollo. La accesibilidad a los programas de educación para la salud impacta en este fenómeno, ya que muchas veces la población cuenta con alimentos propios de la región, pero desconoce el valor nutricional de los mismos. Es por ello que se requiere que las políticas de salud se enfoquen realmente a los programas preventivos y que los recursos asignados a los programas se ubiquen en las poblaciones marginadas y con marginación extrema. Durante los últimos 25 años las cuatro primeras causas continúan presentes en el panorama

epidemiológico estatal, las cuales son atribuibles a la falta de orientación preconcepcional, control prenatal, cobertura de servicios de salud y carencia de servicios públicos sanitarios, entre otros. Es importante señalar que a partir del 2000 la mortalidad infantil por causas prevenibles por vacunación no han estado presentes dentro de las principales causas de mortalidad en los menores de un año, debido a la consolidación del programa de vacunación universal puesto en marcha en 1992 a nivel nacional. Lo anterior es el impacto de la participación y apoyo del Gobierno Federal, Estatal y de las Instituciones del Sector Salud de Michoacán

Cuadro 4.9: Principales causas de mortalidad materna en Michoacán en 2005

Causas	Número	Tasa*
Muertes maternas directas	37	80.43
Aborto	5	13.51
Edema, proteinuria y trastornos hipertensivos en el embarazo, el parto y el puerperio	8	21.62
Hemorragia del embarazo, parto y posparto	11	29.73
* Retención de restos placentarios	4	36.36
* Atonía uterina	3	29.28
* Inversión uterina	2	18.18
* Placenta previa	2	18.18
Otros trastornos maternos relacionados principalmente con el embarazo, parto y puerperio	8	21.62
* Cesárea previa	2	5.41
Embolia del liquido amniótico	2	5.41
Trombo embolia pulmonar	3	8.11
Muertes maternas indirectas	9	19.57
Total de muertes maternas	46	100
Muertes maternas tardías	3	
No obstétricas	1	
Total de muertes registradas	50	

* Tasa por 10,000 NVR.

FUENTE: Secretaría de Salud de Michoacán. Departamento de Salud Reproductiva. 2005

La mortalidad relacionada con el embarazo, parto y puerperio⁴⁵ constituye uno de los principales problemas de salud de las mujeres en la etapa reproductiva. Su ocurrencia tiene dos componentes: Una social,

⁴⁵ Período que sigue al parto y que dura el tiempo necesario (6-8 semanas) para que el aparato reproductor femenino vuelva a la normalidad, eliminando todas las características adquiridas durante el embarazo. En el puerperio también se incluye el período de las primeras 2 horas después del parto, que recibe el nombre de postparto. Wikipedia. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Puerperio> . consulta 05/09/2007

ampliamente relacionada con la pobreza y la marginación, y el otro de salud pública que refleja las deficiencias en el acceso y la calidad de los servicios de atención a la salud materna. Como se ilustra en el Cuadro 4.9, en el 2005 ocurrieron 50 defunciones maternas con una tasa de 6.3 por 10,000 nacidos vivos registrados (NVR). Entre las causas principales de éstas se encuentran la hemorragia del embarazo, parto y puerperio, edema, proteinuria y trastornos hipertensivos en el embarazo, parto y puerperio. Es muy importante señalar que las muertes maternas en el Estado se han incrementado, lo que se traduce en una insuficiencia de la cobertura, baja calidad de los servicios de salud e insuficiente educación para la salud, ya que la mayoría de las muertes maternas podrían evitarse mediante medidas, que por lo común, son sencillas y de bajo costo.

Tanto la esperanza de vida, como la mortalidad infantil, preescolar y materna son indicadores importantes del estado de desarrollo de un país, así como la propagación de enfermedades, especialmente el VIH/SIDA y el paludismo⁴⁶. Al respecto de estas dos últimas condiciones, en Michoacán el índice de desempeño del *Programa VIH/SIDA y otras enfermedades de transmisión sexual* en 2005 fue de 87.2%, es decir que fue una de las entidades cuyo desempeño estuvo por arriba del indicador nacional (75%), el cual se integra con los siguientes componentes: i) distribución de condones; ii) detección de sífilis en mujeres embarazadas; iii) gasto estatal en prevención; iv) seguimiento de ITS; v) casos de SIDA registrados oportunamente; vi) monitoreo de pacientes en tratamiento, y vii) coordinación intersectorial en VIH/SIDA. Asimismo, con respecto al paludismo, en el año 2001, presentó logros de 79%, en el indicador integrado de este programa, en el cual se contemplan aspectos de: i) vigilancia epidemiológica; ii) cobertura de tratamiento; iii) promoción de la salud, y iv) calidad. Sin embargo, esta última condición, característica de la pobreza y el rezago, sigue presente en los problemas de salud del estado.

En relación al gasto en salud, éste tiene dos componentes; el gasto público, es decir, las aportaciones obrero-patronales para seguridad social y los impuestos y el gasto privado, representado por el gasto de bolsillo, las cuotas de recuperación y los seguros médicos privados, principalmente. En relación con lo anterior, el sistema nacional de cuentas en salud (SICUENTAS) reporta que el gasto total en salud como porcentaje del PIB 2001-2005 para Michoacán, fue uno de los más altos a nivel nacional, representando un 11.1% del total, con el 3.1% de gasto público y una importante componente en el gasto privado del 8%, que según este sistema, debe tomarse con reserva debido a la falta de actualización de este indicador a nivel

⁴⁶ ONU. Objetivos de desarrollo del Milenio de la ONU. Disponible en <http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/>. consulta el 05/08/2007

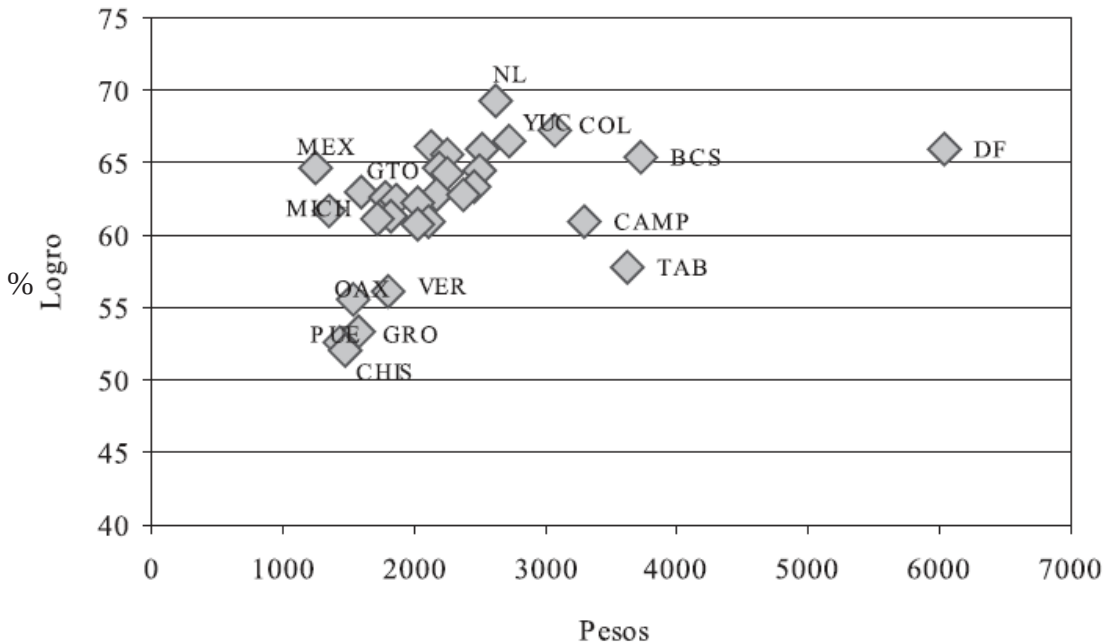
estatal desde 2002. Sin embargo, en relación a este último comentario, estudios publicados entre los años 2002 y 2003 por la revista “*Salud Pública de México*”, el 55% del gasto público en salud para ese período se encontró distribuido entre seis entidades federativas, entre estas Michoacán, representando el 4.47% del total nacional, que en términos del PIB fue equivalente al 7.14%, con un componente principal del 97.9% de gasto de bolsillo, 0.5% en seguros privados y 1.6% en cuotas de recuperación. Asimismo, en un estudio realizado por la dirección general de evaluación del desempeño en 2002, Michoacán fue considerado, como una de las principales entidades federativas en que se incurre en gastos catastróficos en salud, es decir, que existe una propensión mayor a la de otros estados a destinar 30% o más de la capacidad de pago de las personas para financiar el gasto en salud. El porcentaje de hogares que incurrió en gastos catastróficos por motivos de salud a nivel nacional en México en el último trimestre de 2002 fue 3.89%, cifra que representó alrededor de 900 mil hogares. De este porcentaje, Michoacán tuvo una participación del 6.7% explicando lo anterior los bajos niveles de ingreso en el estado, a que la mayoría de la población es de tipo abierto, a la estructura demográfica de la misma y la alta oferta de servicios de salud. Asimismo, a nivel nacional, la composición del gasto privado en salud, indica que el 93% fue gasto de bolsillo, seguido por los gastos en seguros privados con el 5.4% y las cuotas de recuperación o pagos realizados a las instituciones dedicadas a atender a la población no asegurada con 1.3%. Mientras que para Michoacán, el gasto de bolsillo fue de 97.9%, en seguros privados representó el 0.5% y en cuotas de recuperación el 1.6% restante. Los principales componentes del gasto de bolsillo fueron, el gasto en medicamentos, la atención ambulatoria y la hospitalización.

Por otra parte, de acuerdo con el informe de cuentas en salud en México 2001-2005, los recursos asignados al ramo 12⁴⁷ del presupuesto de la federación se incrementaron de 16.9 a 33.7 miles de millones de pesos, es decir, un incremento que representa el doble de 2001, cuya componente con más contribución fue el incremento en términos absolutos del seguro popular y el desarrollo de infraestructura que aumentó de 0.95 a 5.2 miles de millones de pesos, representando un crecimiento de casi cinco veces. En donde entre las entidades que mayor transferencia recibieron en este rubro estuvo Michoacán con un 7.4% del total. Con respecto al gasto estatal destinado a los servicios de salud, éste representó un incremento del 59.5%, y entre las entidades que incrementaron su presupuesto en este rubro se encontró Michoacán.

⁴⁷ Representa los recursos transferidos a la secretaría de salud, y a su vez hacia los servicios estatales de Salud, a través de programas nacionales de salud, así como a unidades centrales, órganos desconcentrados y organismos descentralizados

Para valorar la expansión del sistema de salud y el nivel de alcance de resultado intermedio logrado por éste, se cuenta con el indicador compuesto de la cobertura efectiva del sistema de salud y el gasto público per cápita por entidad federativa, en donde existe un nivel máximo en el logro de una meta de cobertura para cada nivel de gasto en salud, es decir que para cualquier nivel dado de gasto en salud existen variaciones en el desempeño del sistema de salud por entidad federativa en México. Para el estado de Michoacán se tiene una de las eficiencias más altas del país, ya que con menos de 1600 pesos per cápita, se logran coberturas entre 60y 65%. Como se ilustra en la imagen 4.1

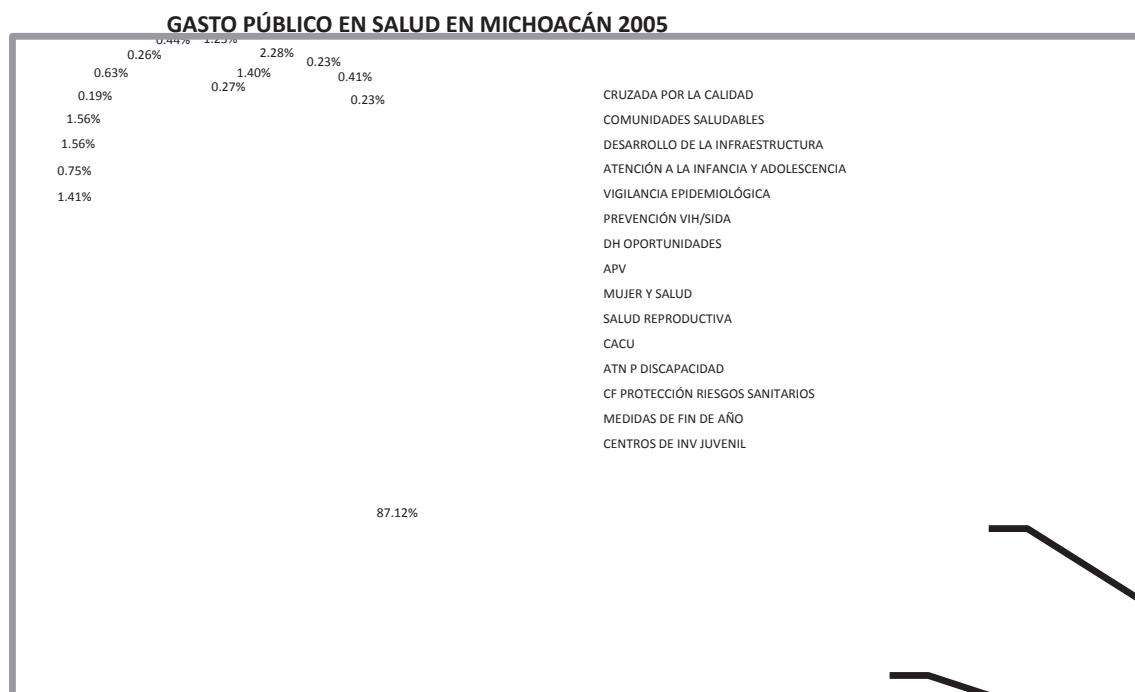
Imagen 4.1: Eficiencia de los sistemas de salud estatales Cobertura% vs. Gasto en salud per cápita en la República Mexicana en 2005



Fuente: Secretaría de Salud. Dirección General de Información en Salud, Sistema de Cuentas en Salud a Nivel Federal y Estatal (SICUENTAS), México 2006.

Los gastos en salud generados en el marco de los programas prioritarios de salud en Michoacán como la cruzada nacional por la calidad de los servicios de salud, comunidades saludables, desarrollo de la infraestructura, entre otros, para 2005, fueron del orden de los 438´458,400 pesos, los cuales se distribuyeron de la forma en que se ilustra en la Gráfica 4.1

Gráfica 4.1: Porcentaje de gasto asignado por programa en Michoacán en 2005

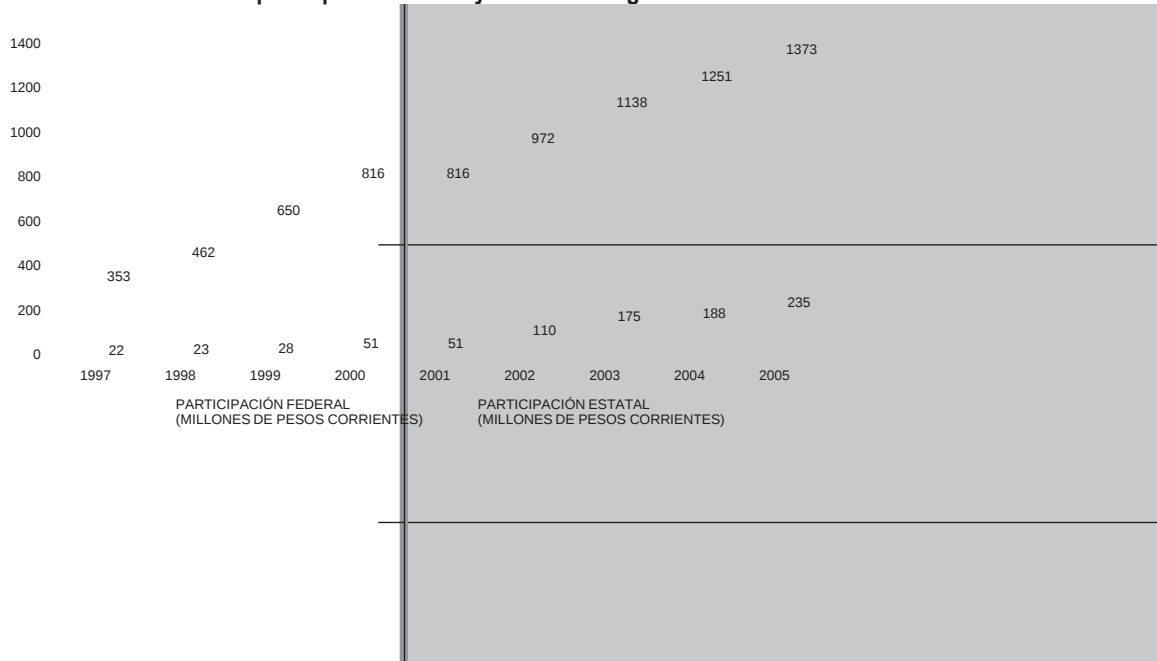


Fuente: Secretaría de Salud. Dirección General de Información en Salud, Sistema de Cuentas en Salud a Nivel Federal y Estatal (SICUENTAS), México 2006.

Como puede apreciarse de la información anterior, en 2005, el estado gastó la mayoría de los recursos del ramo 12, 87.12%, en el desarrollo de la infraestructura física, seguido por la inversión en centros de investigación juvenil.

Por último, la información que presenta la cuenta hacendaria estatal en el subsector salud, permite ver la evolución que presenta el gasto público en salud a nivel estatal desde 1997 a 2005, como se ilustra en la gráfica 4.2, que presenta los datos en pesos corrientes.

Gráfica 4.2: Evolución de la participación estatal y federal en el gasto de salud en Michoacán de 1997-2005



Fuente: Elaborada a partir de información de la Cuenta Pública Hacendaria, sector desarrollo social, subsector salud. México 2006.

De lo anterior puede inferirse que la presente administración ha enfocado sus esfuerzos a la construcción, remodelación y conservación de la infraestructura y que aunque ha habido importantes logros en esa materia, falta un camino largo por recorrer en lo que respecta al cumplimiento de las actividades sustantivas y adjetivas del sistema de salud estatal.

El sistema de salud estatal se encuentra bien organizado en relación a las j, ya que los principales retos tienen que ver con condiciones derivadas de la pobreza y el rezago, como son la presencia de tasas de mortalidad materna por encima de la media nacional y de enfermedades como el dengue, así como la carencia de condiciones que propicien la salud con una cobertura adecuada que evite que la población incurra en gastos catastróficos por motivos de salud e indicadores de recursos humanos acordes a las necesidades y características de la población. Por lo que a partir de estos preliminares, deben orientarse los esfuerzos de cualquier sistema de gestión de calidad y mejora que quiera implantarse para responder a las expectativas de los michoacanos.

V. EL SERVICIO DE CONSULTA EXTERNA DEL HOSPITAL GENERAL “DR. MIGUEL SILVA” Y SUS PROCESOS: EL ALGORITMO GENÉTICO COMO PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS

La Inteligencia Artificial y sus aplicaciones en la Gestión

Algunos autores reconocen el inicio de la Inteligencia Artificial moderna cuando surge la computadora, a principios de los 40's. Otros, consideran que inició con los trabajos del Británico Alan Turing, a mediados de los 50, quien estableció que cuando no seamos capaces de distinguir entre un ser humano y un programa de computadora en una conversación a ciegas, habrá Inteligencia Artificial (prueba de Turing) o en 1956, en la Conferencia de Dartmouth, New Hampshire, en donde se discutió la posibilidad de que las computadoras “se comportaran” inteligentemente y donde John McCarthy, Marvin Minsky y Claude Shannon acuñaron el término “Inteligencia Artificial” (IA). Posteriormente a este evento, durante quince años, se abandonaron casi completamente las investigaciones al respecto, debido a que no se cumplieron las previsiones formuladas. En 1980, al llegar la quinta generación de computadoras⁴⁸ se generaron expectativas en esta materia, las cuales tampoco se cumplieron, por lo que otra vez fue interrumpido el desarrollo en este campo. Actualmente los investigadores en IA sustentan que "la inteligencia es un programa capaz de ser ejecutado independientemente de la máquina que lo ejecute, computadora o cerebro". ^{49,50}.

El filósofo y matemático francés René Descartes, en 1637 predijo que nunca sería posible construir a una máquina que pensara como los humanos lo hacen. Young y Berry sostienen una postura completamente opuesta en el libro “*The Super Intelligent Machine*” en donde sostienen que las máquinas serán capaces de pensar como piensan los humanos. Sus conclusiones se derivan de la observación de diferentes *chatbots*⁵¹

⁴⁸ Etapa del desarrollo de las computadoras que se distinguió, entre otras características, por querer producir computadoras que comprendieran el lenguaje natural

⁴⁹ Nordlander T. AI Surveying: Artificial Intelligence in business. Tesis de maestría en ciencias de la gestión. Departamento de ciencias de la gestión y estadística. Universidad De Montfort. 2001. Disponible en http://www.csd.abdn.ac.uk/~tmordlan/Publications/Artificial_Intelligence_in_Business.pdf . pp. 19-20 Acceso el 15 de mayo de 2007

⁵⁰ Wikipedia. Inteligencia Artificial. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Inteligencia_artificial . Acceso el 15 de mayo de 2007

⁵¹ Un chatterbot (también chatbot, chatterbox) es un programa de tipo bot (dispositivo o pieza de software que puede ejecutar comandos, responder mensajes, o efectuar tareas rutinarias, automáticamente o con mínima supervisión del hombre) el cual intenta mantener una conversación con una persona. Mientras que es cierto que una Buena comprensión en la conversación es requerido para tener un diálogo con significado, la mayoría de los chatbost no llegan hasta este límite.

en conexión con la famosa prueba de Turing⁵². Panczyk (*"A smart choice for collectors?"*.1999), sostiene una postura menos extrema, la de que es posible superar la capacidad humana sólo en algunos casos, uno de estos es cuando a un problema se le van agregando más variables, y se va haciendo más difícil de solucionar para un humano, y en cierto punto una computadora comienza a superarlo. Goett (2001), puntualiza que la inteligencia artificial es diferente de la biológica, y por lo tanto no siempre es comparable con ésta. El Dr. J. Martin (*"Alien Intelligence"*, 2001), presenta una tabla (cuadro 5.1) comparativa entre la inteligencia humana y la inteligencia alienígena (artificial) en términos clínicos.

Cuadro 5.1: Inteligencia Humana vs. Inteligencia Artificial
Dr. Martin
2001

"Afortunadamente, quizá, en lo que somos buenos, las máquinas son malas y viceversa la siguiente tabla contrasta las capacidades del cerebro humano y la computadora"

	Cerebro humano	Computadora
Velocidad	Lento	Millones de veces más rápido
Conexión (neuronal/eléctrica)	Extremadamente compleja	Relativamente simple
Precisión	Comete errores	Absolutamente precisa
Memoria de los hechos	Limitada	Vastos almacenes de datos
Acceso a la información	Datos almacenados en la cabeza	Datos en sistemas a nivel mundial
Memoria asociativa	Muchas asociaciones diversas	Limitada
Localización	Una localización	Conectividad mundial
Comunicación	Lenta, imprecisa	Rápida, precisa

Dadas estas inmensas diferencias en las propiedades de los cerebros y las computadoras, las capacidades de la gente y las máquinas son muy diferentes:

⁵² En 1950, el Británico Alan Turing declaró, que un día habría una máquina que tendría igual inteligencia a la humana en cada sentido. Además formuló una prueba para ver si una computadora podría manejarla. En su prueba, una computadora y una mujer son situadas en dos cuartos separados, la única comunicación es un interrogador que está situado en un tercer cuarto, quien pregunta a la mujer y a la computadora preguntas idénticas, la prueba es exitosa si el interrogador es incapaz de distinguir entre la máquina y la mujer. Si ese fuera el caso, de acuerdo con Alan Turing, sería irrazonable no llamar a la computadora inteligente (HODGES, 2001).

	Humano	Máquina
Sentido común	Si	No
Habilidad de ponerse metas, y pensar en términos de significado y propósitos	Si	No
Habilidad de reconocer patrones familiares para los humanos	Si	Limitada
Habilidad de reconocer patrones desconocidos para los humanos	No	Si (con redes neuronales)
Habilidad de delinear analogías e ideas diversas asociadas	Si	No
Lógica de muy alta velocidad	No	Si
Habilidad de ejecutar procesos lógicos que los humanos no pueden comprender	No	Si
Almacenamiento preciso de una vasta cantidad de datos y reglas	No	Si
Habilidad de aplicar un vasto número de reglas con precisión	No	Si
Habilidad de realizar cálculos complejos	Limitada	Si
Precisión absoluta	No	Si
Réplica precisa en muchas localidades	No	Si
Comunicación inmediata con varias localizaciones	No	Si
Interconexión mundial inmediata	No	Si
Cooperación precisa con otras máquinas a nivel mundial	No	Si
originalidad	Si	No
Habilidad de inspirar o liderar a otros humanos	Si	No
Sabiduría	A veces	No

Fuente: Nordlander T. AI Surveying: Artificial Intelligence in business, 2001

Panczyk, además, piensa que las computadoras tienen la ventaja cuando se considera que: su desempeño nunca se deteriora debido a la fatiga, su atención nunca se distrae, y nunca se enredan emocionalmente como los humanos. Por último el profesor Sloman (Universidad de Birmingham, 2001) que *“Aún no puede decirse con precisión que no existe algo que el cerebro haga que una computadora nunca pueda hacer,*

aun cuando existen muchas cosas que el cerebro puede hacer que la computadora no puede hacer y viceversa”

De acuerdo con los expertos en el tema, el mayor problema para dar una definición del término “inteligencia artificial”, estriba en el hecho mismo de que definir la palabra “inteligencia”, es difícil. Incluso atender a las acepciones acuñadas en ciencias como la biología, la lingüística o la psicología plantean consideraciones de orden filosófico. En relación al término “inteligencia artificial”, la enciclopedia británica (2007) la define como:

“Habilidad de adaptarse efectivamente al medio ambiente, aun haciendo un cambio en uno mismo, cambiando el ambiente o encontrando uno nuevo”

Por otra parte, la Real Academia Española (2007), la define de la siguiente forma :

“Desarrollo y utilización de ordenadores con los que se intenta reproducir los procesos de la inteligencia humana”

Los estudiosos del tema (Yam, 2001 y Rifkin, 1995) concluyen que es casi imposible definir el término de inteligencia artificial. Por lo que se ha encontrado una manera útil de hacerlo, estos es, dividiendo la inteligencia artificial en dos tipos:

Inteligencia artificial débil (weak artificial intelligence). Rich y Knight en su libro “inteligencia artificial”, definen que este término abarca cada máquina controlada por computadora que reemplace o auxilie al hombre en su trabajo. Esto es *“hacer las cosas para las cuales el hombre, en ese momento es mejor”*. Ejemplo de esto fue la computadora Deep Blue, de IBM, en la cual se demostró su poder de procesamiento ganándole al famoso jugador de ajedrez Gary Kasparov muchos juegos. Pero fue el poder de procesamiento o cálculo lo que hizo que la máquina ganara, y no que los patrones reconocidos y automáticamente aprendidos, evolucionaron o mejoraron su propio desempeño.

Inteligencia artificial fuerte (strong artificial intelligence). Russell y Norving (2001) mencionan que los entusiastas de la inteligencia artificial fuerte creen que *“cuando es creado, un programa de computadora*

correctamente escrito ejecutándose es una mente, que no existe diferencia esencial entre una pieza de software que emula exactamente las acciones del cerebro y el cerebro humano en sí”.

En el contexto de los negocios, Goodwins (ZDNet), sostiene que si un hombre de negocios demanda algo del mercado de la inteligencia artificial, existe una fuerte posibilidad que sea de tipo débil.

El impacto y potencialidades de la aplicación de la inteligencia artificial en la administración y los negocios son tópicos abordados en diversos artículos de investigación y revistas especializadas. Una investigación realizada en la Universidad De Montfort del Reino Unido, revisa la penetración de la inteligencia artificial en el mercado de los negocios, así como el estudio de casos prácticos en esta temática. Principalmente el trabajo estudia qué métodos de inteligencia artificial, son los más aplicados, qué son capaces de hacer y cómo son utilizados para ganar ventaja competitiva en las empresas.⁵³

Así, se encuentra que algunos de los métodos de la IA, de mayor aplicación en la gestión y en los negocios son:

1. *Los sistemas expertos.* Definidos como “Motores de conocimiento” que entrevistan a los expertos en cierto dominio y tratan de representar su conocimiento en un programa de computadora para cumplir con ciertas tareas. Han sido desarrollados desde la década de los 70’s. Son programas que toman decisiones basadas en el conocimiento y la inferencia, y pueden “explicar” la lógica que subyace en una decisión en particular, por qué fueron formuladas ciertas preguntas, y/o porque fueron eliminadas ciertas alternativas. Se clasifican dentro del tipo de IA débil.

Una de sus primeras aplicaciones (Mycin) fue diseñada como una herramienta de diagnóstico médico. Sus aplicaciones potenciales en el contexto de los negocios y la administración son: la preservación del conocimiento del personal que se retira, almacenamiento de habilidades poco comunes, aplicación de conocimientos de expertos en lugares donde éstos no pueden viajar, entrenamiento de nuevos empleados, realización de tareas monótonas, optimizar el tiempo de los expertos, cuando estos no pueden estar presentes en una situación que requiera sus conocimientos.

⁵³ Nordlander T. Op. Cit. pp. 21-32

2. *Las redes neuronales artificiales.* Las redes neuronales artificiales son programas de software que están inspirados en la arquitectura del cerebro humano y la manera en que se llevan a cabo las miles de conexiones entre los diez millones de neuronas que posee éste. Por otra parte, la computación neuronal es el estudio de redes de nodos adaptables los cuales -a través de un proceso de aprendizaje de las tareas de ejemplo- almacenan conocimiento y lo hacen disponible para su uso⁵⁴. Los sistemas de redes neuronales, en lugar de ser programados, aprenden a reconocer patrones, por lo que tienen aplicación en el reconocimiento, mapeo, completado y clasificación de estos. Su aprendizaje es adquirido a través de modificaciones menores repetidas para seleccionar los pesos de las neuronas y debe ser entrenado correctamente, una vez que esto es realizado, el sistema debe ser capaz de encontrar la salida deseada, sin embargo, esto no garantizará que una red neuronal produzca un patrón de salida correcto.

En el contexto de la administración y los negocios, su capacidad en el manejo de patrones, hace a las redes neuronales útiles como herramientas de pronóstico de series de tiempo, pudiendo reconocer fácilmente patrones que tienen gran cantidad de variables para que el ser humano las note. Además tienen ventaja sobre los modelos estadísticos convencionales, ya que manejan datos ruidosos (datos con errores aleatorios o valores no esperados en una variable medida), no requieren satisfacer ningún supuesto estadístico, pueden manejar condiciones no lineales, aprender y analizar grandes y complejos conjuntos de datos con los que los algoritmos lineales no pueden lidiar.

3. *Los algoritmos evolutivos.* Es un conjunto de algoritmos de búsqueda colectiva en el espacio de soluciones de una función, los cuales hacen uso de la teoría de la evolución para lograr su objetivo⁵⁵. De acuerdo con Howe, es una clase de algoritmo que mantiene una población de estructuras (usualmente generadas aleatoriamente al inicio) que evoluciona de acuerdo a reglas de selección, recombinación, mutación y supervivencia referidas como operadores genéticos. Un ambiente compartido determina la aptitud o desempeño de cada individuo en la población. Además los individuos más aptos son los más probables para ser seleccionados en la reproducción (retención o duplicación), mientras la recombinación y la mutación modifican esos individuos,

⁵⁴ Alexander I., Morton H. An introduction to neural computing. Segunda edición. Londres. 1995. Citado en Nordlander p. 23.

⁵⁵ Wikipedia. Algoritmos evolutivos. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_evolutivo Acceso el 15 de mayo de 2007

produciendo otros potencialmente superiores⁵⁶. Existen actualmente cuatro paradigmas principales en la investigación de esta rama: el algoritmo Genético (AG), la programación genética (GP), la programación evolutiva y la estrategia de evolución.

Las aplicaciones para las que han tenido éxito en los negocios y la administración son los problemas de programación de roles y horarios del personal, localización de recursos, en la colocación de ubicaciones que más beneficios aporten a las empresas y en la solución de problemas típicos de investigación de operaciones en donde se tengan muchas restricciones. Además se usan para el entrenamiento de redes neuronales artificiales y en la selección de reglas para sistemas borrosos en general para la optimización de sistemas multivariable específicos no lineales. Los algoritmos evolutivos ofrecen combinación económica de simplicidad y flexibilidad, y quizá sea el mejor método para encontrar soluciones rápidas que otras más costosas y que consumen más tiempo (pero de mejor calidad).

4. *Sistemas híbridos*. Los debates acerca de cuál de las técnicas de IA era la mejor, trajeron consigo la posibilidad de combinar los avances en sistemas híbridos es decir, aquel que emplea más de una técnica de solución de problemas. Por ejemplo, la lógica borrosa o difusa es un método que se combina con otras técnicas de IA para representar el conocimiento y la realidad. Se parece al razonamiento humano, pero usa la ambigüedad de la información de mejor manera. En lugar de usar la lógica clásica, donde para una proposición únicamente existen dos valores (falso/verdadero, blanco/negro, alto/bajo) pueden representarse todos los valores o estados que la incertidumbre pueda introducir al responder a una situación, pero contextualizados en dos valores referidos entre sí⁵⁷. Por lo anterior, la lógica difusa se define como *una desviación de la lógica clásica de dos valores, que usa variables de sistemas lingüísticos "suaves" y un rango continuo de valores verdaderos en el intervalo, en lugar de decisiones y trabajos estrictamente binarios*.⁵⁸ La

⁵⁶ Howe D. Free On-Line Dictionary of Computing. Imperial College Department of Computing. Disponible en <http://foldoc.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?query=AI>. Acceso el 15 de Mayo de 2007

⁵⁷ Por ejemplo los valores blanco y negro pueden contextualizarse entre sí (uno es el opuesto del otro y esa es su relación) y puede hacerse referencia a uno con respecto al otro (esto es más blanco que negro), pero entre el blanco y el negro existe toda la gama de grises (gris claro, gris muy oscuro) y en cada uno de los valores posibles en la gama de grises, puede cuantificarse la incertidumbre, o dársele un valor (el gris muy muy oscuro está más cerca del valor negro).

⁵⁸ Withagen H. Neural Network FAQ. University of Bergen. Disponible en http://www.fi.uib.no/Fysisk/Teori/NEURO/neurons.html#what_is_a_nn. Acceso el 15 de Mayo de 2007

lógica borrosa es aplicada para controlar sistemas no lineales y modelar sistemas complejos, donde existe un modelo inexacto donde la ambigüedad es común.

Algunas aplicaciones de esta técnica de IA en la administración: la selección de personal, carteras de inversión, evaluación de proyectos de inversión, entre otras, donde la incertidumbre juegue un papel relevante.

Por otra parte, otra técnica de IA que podría considerarse híbrida, es la *minería de datos*⁵⁹, la cual no tiene que ser un sistema híbrido, pero usualmente, lo es, por ejemplo DB2 (herramienta de minería de datos) de IBM, hace uso de técnicas como redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos para realizar búsquedas para revelar estructuras esperadas e imprevistas en los datos, convertir lo que a menudo son montones de datos en información útil. La revista *Bussiness Week* (2001) la define como: “*aprovechamiento de la inteligencia artificial y trucos estadísticos mañosos para desenterrar perspicacias dentro de montañas de datos. El software es tan minucioso y tan listo señalando relaciones sutiles y asociaciones, que regularmente realiza descubrimientos frescos*”. Es una herramienta muy útil para las compañías en la competencia de cuotas de mercado.

Las aplicaciones que las empresas le han dado a las técnicas de IA son muy variadas, algunos de los casos en que estas herramientas han sido aplicadas se resumen en el cuadro 5.2:

**Cuadro 5.2: Casos de aplicación de la IA en empresas
2001**

Empresa	Técnica de IA	Área de aplicación
Amazon.com	Minería de datos	⇒ Gestión de la relación con los clientes (incluye la coordinación de ventas, mercadotecnia, servicio al cliente, soporte y otras funciones de contacto con el cliente)
		⇒ Análisis del comportamiento del cliente
		⇒ Mercadotecnia
Trajecta Inc.	Redes neuronales Sistemas expertos	⇒ Modelado de situaciones complejas de negocios

⁵⁹ También conocida como: descubrimiento de conocimiento en las bases de datos (KDD), arqueología de datos, segmentación de datos o descubrimiento de datos

		⇒ Cálculo de decisiones óptimas ⇒ Aprobación de créditos
Federal Express Co.	Minería de datos Redes neuronales	⇒ Construcción de modelos predictivos ⇒ Identificación del perfil de clientes ⇒ Construcción de ventaja competitiva
Neuristics	Sistemas expertos	⇒ Aprobación de créditos
Master card	Redes neuronales	⇒ Identificación de desviaciones, fraude y hábitos de gasto de tarjeta habientes
American express	Redes neuronales	⇒ Identificación de desviaciones, fraude y hábitos de gasto de tarjeta habientes
Otras compañías de crédito	Redes neuronales Sistemas Expertos Algoritmo genético	⇒ Identificación de desviaciones, fraude y hábitos de gasto de tarjeta habientes
Compañías de seguros e hipotecas	Sistemas expertos	⇒ Evaluación de reportes de crédito
Asistente de Microsoft Office	Sistemas expertos asesores	⇒ Soporte técnico
Toronto Dominion Bank Financial Group	Lógica borrosa	⇒ Atención al cliente ⇒ Soporte técnico
Hewlett Packard	Sistemas expertos	⇒ Atención al cliente ⇒ Asesoría en compras
Xerox	Redes neuronales	⇒ Control en el uso de Internet
General Motors	Agentes inteligentes	⇒ Operación y proceso de información para la toma de decisiones
Dallas Teachers Credit Union	Minería de datos Redes neuronales	⇒ Localización de sucursales
John Deere	Algoritmos genéticos	⇒ Producción ⇒ Rotación y programación de personal
Texaco	Redes neuronales Minería de datos	⇒ Análisis de datos para la producción
NeuWorld Financial	Redes neuronales	⇒ Combinación de acciones para el portafolios de inversión ⇒ Pronósticos

Fuente: Elaborado a partir de Nordlander T. *AI Surveying: Artificial Intelligence in business*. Tesis de maestría en Ciencias de la Gestión. Departamento de ciencias de la gestión y estadística Universidad de Montford, Reino Unido. 2001

En la maestría en Administración de la Universidad Michoacana se han desarrollado diversos trabajos que emplean alguna de las técnicas de la inteligencia artificial como propuesta de apoyo a la gestión, principalmente la aplicación de sistemas borrosos para la determinación de variables significativas en

empresas en un ambiente de incertidumbre, selección de personal con evaluaciones psicotécnicas, localización de franquicias, selección óptima de capital intelectual, evaluación de inversiones y los sistemas expertos para la para la toma de decisiones financieras.

Por otra parte al consultar la literatura especializada, son diversas las aplicaciones que se le han dado a la IA en el ámbito de la gestión del sector salud. Pudieron encontrarse trabajos que van desde la simplificación u optimización de procesos, hasta proyectos impulsados a nivel nacional para simplificar y automatizar muchos aspectos en el sector salud. En este caso, la técnica de inteligencia artificial que será aplicada para la optimización de procesos del servicio de consulta externa del H.G.M.S. es el Algoritmo Genético (AG), cuyo precursor fue el Dr. John Henry Holland (John Holland), pionero de los sistemas complejos y la ciencia de la no linealidad, quien desde finales de los 50's vislumbró la posibilidad de que los programas de computadoras resolvieran problemas complejos, que incluso quienes los creaban no pudieran comprender completamente tratando de emular la evolución biológica y su base genético-molecular para desempeñar funciones de optimización en una computadora. Los antecedentes de esta técnica, sus fundamentos teóricos y su implementación son abordados en la siguiente sección.

La técnica del Algoritmo Genético

En el pasado se han propuesto varios modelos para obtener diseños óptimos, sin embargo muchos de éstos son de tipo estático. Por otra parte, en los últimos años se han desarrollado métodos multicriterio y algoritmos que den un conjunto de buenas soluciones, en lugar de una sola óptima, ejemplo de estos es el Algoritmo Genético (AG). Los problemas cotidianos pueden ser difíciles de resolver debido a la irregularidad de los datos, el tiempo que toman para resolverse o la dificultad que implica su modelado. La asignación de un conjunto de tareas a un grupo de personas, encontrar el camino más corto entre dos ciudades o ajustar un grupo de cajas de diferentes tamaños en el menor número de camiones, problemas cuya solución tradicionalmente ha estado circunscrita al ámbito de la investigación de operaciones, actualmente pueden ser resueltos con menor esfuerzo aplicando la técnica del AG, cuya aplicación más conocida es el problema de optimización de funciones, en el que se trata de encontrar las mejores soluciones en el espacio de búsqueda definido por su dominio.

Las siguientes secciones pretenden explicar las bases teóricas y funcionales del AG, para posteriormente dar paso a su aplicación en la solución de problemas de optimización de procesos hospitalarios en el caso que es materia de este trabajo.

La teoría de la evolución como base del algoritmo genético.

Siendo la teoría evolucionista base teórica del Algoritmo Genético, resulta útil recobrar algunos de sus conceptos y fundamentos. La evolución biológica sostiene que los seres vivos cambian con el transcurso del tiempo y se transforman para dar lugar a nuevas especies. Estas a su vez, son descendientes de ancestros primordiales y en la mayoría de los casos, más sencillos⁶⁰.

A finales del Siglo XVIII las ideas de Lamarck y Darwin revolucionaron las teorías de la evolución hasta entonces existentes y hasta ahora son considerados los fundadores de la doctrina de la evolución. Juan Bautista Monet, caballero de Lamarck (1744-1829) dio el primer paso hacia el desarrollo de la teoría moderna de la evolución orgánica exponiendo la primera hipótesis evolucionista en su obra “Filosofía Zoológica”, publicada en 1809, en donde declaraba que el cambio en las especies era la base para la diversificación de la vida y que los organismos más complejos habían evolucionado de los más sencillos y afirmaba que la evolución no había cesado, sino que estaba en proceso. Sin embargo, también planteaba que ésta era causada por el medio y que éste originaba la aparición de ciertos órganos cuyo desarrollo o atrofia estarían de acuerdo con el uso que de éstos se hacía y que además ciertos “caracteres adquiridos” estaban presentes incorporados a la herencia de los individuos. Esta última apreciación fue rechazada por un número arrollador de experimentos. Años después, Charles Darwin (1809-1882) impulsaría la teoría evolucionista, admitiendo la influencia del medio como factor determinante, pero añadiendo nuevos factores como la lucha por la existencia, en la que perecen los más débiles y perduran los más aptos, lo que determina otro concepto, al cual denominó “*Selección Natural*”. Cualquier carácter que posea un individuo y que haya aparecido en él como una variación, tendrá importancia en la supervivencia. Bajo condiciones de competencia, la selección obra automáticamente debido a las variaciones hereditarias que favorecen la existencia de un organismo y su capacidad para producir descendencia fértil. Por el contrario, las variaciones que fueran desfavorables podrían eliminarse por extinción de los organismos y descendencia. Un proceso de selección natural opera constantemente tendiendo a perpetuar la existencia de las variaciones que en un medio dado confieren una ventaja, con el fin de sobrevivir y producir descendencia fértil. Esta idea evolucionista fue expuesta en la obra magna de Darwin “*el origen de las especies*”, publicada en 1859 siendo aceptada universalmente por los científicos.

⁶⁰ Cira H. Localización óptima de bancos de capacitares utilizando el Algoritmo Genético. Op. Cit. pp 41
58

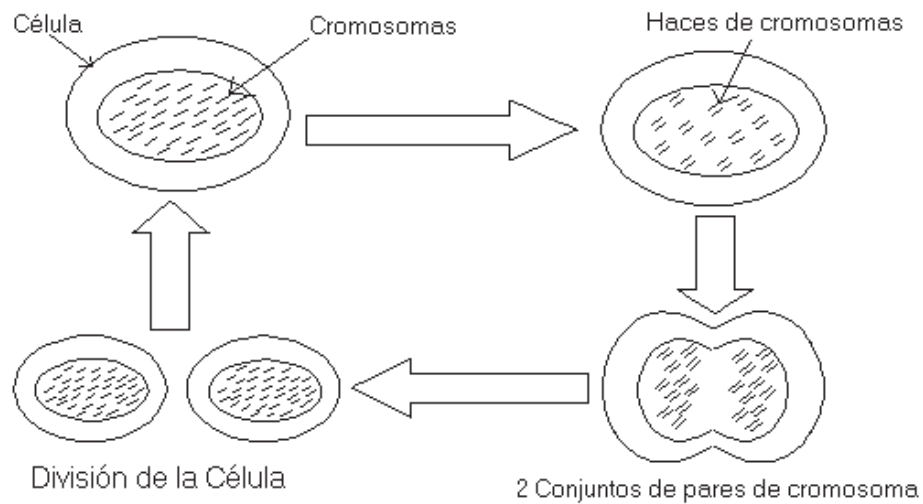
De acuerdo con Darwin, la evolución involucra los siguientes factores:

1. *Sobreprroducción*. Producción de más descendencia de la que puede sobrevivir o llegar a su madurez.
2. *Constancia del tamaño de la población*. Existencia de un grado de mortandad, debido en parte a la existencia limitada de espacio y alimento.
3. *Presencia de variación*. Diversidad exhibida en muchas de las características de miembros de una especie semejante que producen especies completamente nuevas cuyos rasgos las hacen adaptadas a ambientes particulares.
4. *Selección natural de los individuos reproductores de generación en generación*. Variaciones que favorecen a los organismos en la competencia para sobrevivir
5. *Herencia*. La herencia es un hecho, ejemplo de ello es la semejanza entre los progenitores y su progenie, los individuos supervivientes pasarán la mayor parte de sus variaciones o adaptaciones favorables a las generaciones sucesivas, mejorando la especie para adaptarse mejor a su medio ambiente.

Son los cambios en el material genético de las especies los que forman la esencia de la evolución. Cada ser vivo consiste en una o más células. Cada célula contiene un solo núcleo que, a su vez, contiene cromosomas. Los cromosomas están compuestos de los factores determinantes de los rasgos, tradicionalmente conocidos como genes, que se transmiten cuando se tiene la descendencia. Los genes pueden tomar un gran número de valores diferentes llamados alelos. Los cromosomas vienen por pares y cada padre contribuye con un cromosoma en cada pareja.

Al prepararse para el apareamiento, los cromosomas se juntan, duplican y forman haces, los cuales conducen a una gran cantidad de divisiones y reconexiones, mezclando así los genes de los cromosomas implicados. A esta mezcla se le conoce como **recombinación**. Ya que ha ocurrido la duplicación y la recombinación, existen dos conjuntos completos de pares de cromosomas mezclados. Los conjuntos son conducidos a los extremos opuestos del núcleo; luego, éste se divide, iniciando la división de la célula entera. Las dos células resultantes tienen el número normal de cromosomas, pero no son normales porque sus cromosomas han sufrido la recombinación. Esta mezcla permite a las criaturas desarrollarse mucho más rápido de lo que lo harían si cada progenie contuviera simplemente una copia de los genes de un solo padre, siendo modificado ocasionalmente por mutación. Este proceso se muestra en la siguiente figura 5.3.

Figura 5.3. Proceso de recombinación



Fuente: Cira H. Localización óptima de bancos de capacitores utilizando el Algoritmo Genético. Tesis de Maestría en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Morelia, 2002

La evolución es la acción de la selección natural y de la recombinación de material genético que ocurre durante la reproducción. La mayoría de los organismos se desarrollan por medio de estos dos procesos primarios. La selección natural determina qué miembros de una población sobreviven para reproducirse, y la reproducción sexual asegura la recombinación entre los genes de su progenie.

La selección natural determina ventajas en la sobrevivencia y reproducción y, por lo tanto, el predominio de sus caracteres dentro de la población y dentro del conjunto total de poblaciones con intercambio de material genético. La aptitud es la habilidad de las criaturas de sobrevivir a los depredadores, contaminación, y otros obstáculos para llegar a la edad madura y reproducción subsecuente.

Desde un punto de vista molecular, la selección natural puede realizarse mediante la **variación**. La variación es la causa de que unos individuos estén mejor adaptados que otros para la sobrevivencia en determinado medio.

La recombinación genética, o sea, la mezcla a través de sucesivas generaciones de los distintos alelos del conjunto de genes que forma el material hereditario de una especie, da como resultado genotipos distintos a base de material básico común a cada población y en última instancia a cada especie. En los animales y

en las plantas la recombinación genética es tan importante como la mutación como fuente de variabilidad genética.

Ocasionalmente, el proceso de copiado de cromosomas se desvía y se produce un gene alterado ligeramente distinto del gene correspondiente del padre. Este gene se conoce como **mutación**.

La mutación es un cambio en la estructura química del material genético que va a provocar una nueva expresión fenotípica (apariencia observable de un individuo). Sin mutación no aparecerían nuevos alelos, lo cual traería como consecuencia el cese del proceso evolutivo. Es de gran importancia determinar con que frecuencia ocurre este fenómeno en un determinado gene, ya que ésta será una de las causas de las medidas que permitirán estudiar la velocidad del cambio evolutivo.

Dos características llamativas del proceso de mutación que están en aparente contradicción con la importancia que tiene como base de la variabilidad biológica: la relativa rareza con que ocurren las mutaciones en la gran mayoría de los genes y el carácter perjudicial de la mayor parte de ellas:

Frecuencia de mutación: Existen límites de variación muy amplios en la frecuencia de mutación de los distintos genes que forman el material hereditario de una especie. El elevado número de genes, la abundancia de individuos que producen muchos **gametos** (células reproductoras) y la rápida sucesión de las generaciones, compensan en el conjunto de material hereditario de una población la baja frecuencia con que la mutación se produce en cada gene individualizado. A pesar de la baja frecuencia, la mutación constituye el fenómeno básico que origina la variabilidad de los seres vivos. Esto se debe a las características del proceso de la herencia biológica, que a continuación se describen:

- La baja frecuencia con que la mutación ocurre por un gene determinado por gameto, está ampliamente compensada por el número extraordinario de gametos que se producen.
- En la mayor parte de las especies, las generaciones se suceden en lapsos cortos, lo que aumenta la posibilidad de mutación a lo largo de los años.

Efectos de mutación genética: Una cierta mutación puede tener un efecto favorable o perjudicial, dependiendo de los cambios fenotípicos que provoca aumenten o disminuyan las posibilidades de sobrevivencia.

La herencia es el fenómeno biológico mediante el cual se transmiten los caracteres anatómicos y funcionales de los progenitores a sus descendientes. Cuando los dos progenitores tienen caracteres semejantes, el descendiente los conservará en su totalidad. En cambio, si los dos progenitores tienen caracteres diferentes entre sí, el descendiente no podrá exhibir al mismo tiempo caracteres paternos y maternos, sino que aparecerán unos u otros conforme a ciertas leyes; este caso, que se designa con el nombre de hibridismo, es el que se presenta habitualmente en la naturaleza⁶¹.

Desarrollo de la Técnica del Algoritmo Genético

"Los programas de computadoras que evolucionan en formas que se asemejan a la selección natural pueden resolver problemas complejos que incluso sus creadores no comprenden completamente"

John H. Holland ⁶²

Hace algún tiempo, un investigador llamado John H. Holland se dio cuenta de que los sistemas grandes e interactivos, tales como la ecología local o la operación de las escuelas estaban formados por una jerarquía de sistemas, en los cuales persistía una serie de unidades claves. Holland los consideró Bloques Constructivos. A fines de los 40's, en el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts), se vio fascinado por un tipo de programación basada en la construcción de redes artificiales de neuronas. La idea de que neuronas individuales trabajaran juntas para formar una red de donde emergieran sus memorias y su complejo comportamiento, y que tales redes pudieran ser construidas artificialmente, concordaba perfectamente con su teoría de los bloques constructivos. Más adelante, a fines de los 50's, descubrió el libro "*The Genetic Theory of Natural Selection*", escrito por el biólogo evolucionista R.A. Fisher, que fue el primer intento de una teoría matemática de la evolución. Así, Holland pensó que si la evolución trabaja tan bien en los organismos, lo haría con programas de computadoras, y aunque no fue el primer investigador en inventar un esquema para reproducir lógicamente el trabajo de la evolución, pero tenía la ventaja de su idea acerca de los bloques constructivos.

El Algoritmo Genético "clásico", desarrollado por Holland, estaba inspirado en la teoría de la selección natural de Darwin, su invención era un gran progreso porque utilizaba la evolución para proveer una forma poderosa de desempeñar funciones de optimización en una computadora y proveer un medio para estudiar los trabajos de la evolución en una manera única.

⁶¹ Ibidem pp. 42-48

⁶² Ibidem p. 48

Entre 1962 y 1965 Holland enseñó un curso de nivel medio en la Universidad de Michigan llamado "Teoría de los sistemas adaptativos". En los seminarios, Holland y sus estudiantes refinaron los detalles del Algoritmo Genético (AG), y experimentaron con sus parámetros, produciendo la forma estándar del Algoritmo Genético, abstrayendo y explicando rigurosamente el proceso adaptativo de los sistemas naturales, y diseñando software de sistemas artificiales que retuvieran los mecanismos importantes de los sistemas naturales. Este enfoque ha llevado a importantes descubrimientos tanto en la ciencia de sistemas naturales como en la de artificiales.

Los estudiantes utilizaron los AG para buscar estrategias en una versión extremadamente simplificada de ajedrez, para simular las funciones de organismos unicelulares, el primer ejemplo de simulación biológica usando AG, pero el experimento más ambicioso fue sugerido por David Goldberg. Goldberg se preguntaba si los Algoritmos Genéticos podrían ser usados para eliminar los problemas de control en la transmisión de gas natural, y sugirió el tema para su proyecto. Holland trató de disuadirlo, creyendo que aún no se sabía lo suficiente acerca del sistema, y que el problema era muy difícil. Sin embargo, al término de un año, Goldberg obtuvo resultados, usando una versión del Algoritmo Genético en una computadora personal Apple II.

A pesar de que Holland es conocido como el padre de los Algoritmos Genéticos, no fue el quien los bautizó. J.D. Bagley acuñó el término "Algoritmos Genéticos" en 1967. La primera aplicación publicada de Algoritmos Genéticos apareció en la disertación doctoral de Bagley, quien los utilizó para juegos debido a la popularidad de éstos en la Inteligencia Artificial en aquel tiempo.

En 1975 Holland publicó la primera edición del libro clásico *"Adaptation in Natural and Artificial Systems"* acerca de las ideas y teorías alrededor de los Algoritmos Genéticos. En éste, Holland explica su teoría de esquemas, la asignación óptima de procesos, planes reproductivos, operadores genéticos y otros temas relacionados con la teoría y la aplicación. También es la primera monografía que habla de la robustosidad de los sistemas. En 1975 K.A. De Jong ayudó a colocar a los Algoritmos Genéticos en una fundación experimental más sólida por medio de la publicación de su trabajo de una prueba de 5 funciones para Algoritmos Genéticos. Estas pruebas contenían funciones que eran consideradas como difíciles de resolver para un Algoritmo Genético y han sido utilizadas una y otra vez para investigar nuevos enfoques para la implementación de los Algoritmos Genéticos.

En 1984 J.J. Grefenstette escribió GÉNESIS, el cual es un sistema escrito en el lenguaje de programación C y ha ayudado a fomentar el crecimiento y descubrimiento de los Algoritmos Genéticos al hacerlo disponible al dominio público.

El área obtuvo su propia conferencia internacional mostrando que la investigación de aplicaciones en esta área ha alcanzado la agrupación necesaria para un crecimiento posterior. La primera Conferencia Internacional de Algoritmos Genéticos y sus aplicaciones fue llevada a cabo en 1985. Muchos textos y libros de referencia de Algoritmos Genéticos han sido publicados desde 1989, el cual es otro signo de que el campo está creciendo continuamente tanto en aceptación como en participación.

A partir de 1990 muchas compañías liberaron paquetes de software comercial que permiten a los desarrolladores incorporar el poder de los Algoritmos Genéticos en sus aplicaciones. Uno de dichos paquetes, llamado EOS: Evolutionary Object System, está basado en el popular lenguaje orientado a objetos "C++". Este explota la extensibilidad del software orientado a objetos por medio del suministro de un conjunto rico en componentes que pueden ser ensamblados en una aplicación de Algoritmos Genéticos mientras provee un vehículo para la extensión de la estructura por parte del usuario.

Habiendo sido establecido como un enfoque válido para problemas que requieren una búsqueda eficiente y efectiva, los Algoritmos Genéticos están ahora buscando aplicaciones más extensas en círculos de negocios, científicos y de ingeniería.

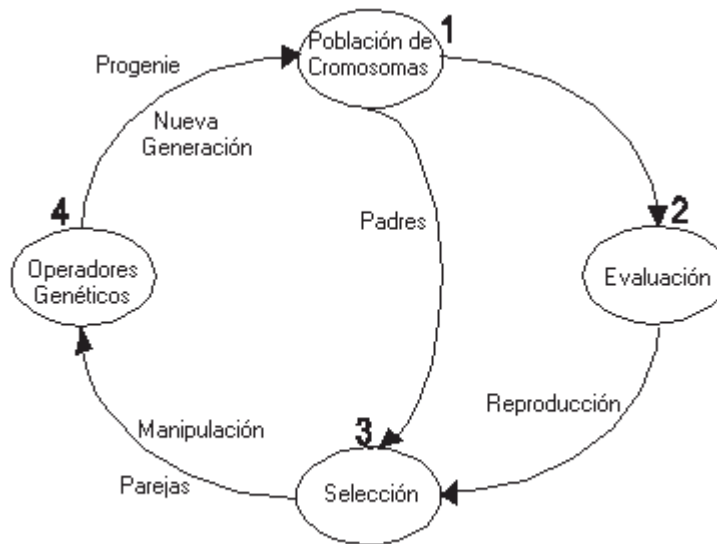
Aplicación de la técnica del Algoritmo Genético

Los Algoritmos Genéticos son procedimientos de **búsqueda, optimización y aprendizaje máquina** inspirados en la evolución natural. Se basan en ideas parecidas, en ciertos aspectos, a las de **individuos, apareamiento, recombinación de cromosomas, mutación genética, adaptación y selección natural**. Al igual que en los mecanismos de selección que utiliza la naturaleza, de acuerdo a los cuales los individuos más aptos de una población son los que sobreviven al adaptarse más fácilmente a los cambios que se producen en su entorno. Hoy en día se sabe que estos cambios se efectúan en los genes de un individuo, y que sus atributos más deseables se transmiten a sus descendientes cuando éste se reproduce sexualmente.

Un Algoritmo Genético opera a través de un sencillo ciclo de cuatro pasos:

- 1.- Creación de una población de individuos,
- 2.- Evaluación de cada individuo,
- 3.- Selección de las mejores individuos, y
- 4.- Manipulación genética para crear una nueva población de individuos.

Figura5.4 Algoritmo Genético en un ciclo sencillo.



Fuente: Íbidem

La figura anterior muestra estos cuatro pasos usando la terminología biológica inspirada en Algoritmos Genéticos. Cada ciclo produce una nueva generación de posibles soluciones para un problema dado. El primer paso es crear una población inicial, que normalmente se genera de manera aleatoria, como un punto de partida para la búsqueda. Esta población estará constituida por un conjunto de cadenas de caracteres llamadas cromosomas que representan las soluciones posibles del problema. De tal forma, que los Algoritmos Genéticos operan con los cromosomas que son equivalentes al material genético de los individuos en la naturaleza, y no directamente con las soluciones. El Algoritmo Genético de Holland codifica las soluciones como cadenas de bits de un alfabeto binario.

En el siguiente paso, el desempeño (o aptitud) de cada individuo es evaluado con respecto a las restricciones impuestas por el problema. Esto se hace aplicándole a los cromosomas una función de aptitud, que depende del problema específico que se desea resolver, a fin de saber qué tan buena es la

solución que se está codificando comparada con otras soluciones en la población. Mientras más alto sea el valor de aptitud de un individuo, más alta la probabilidad de que sobreviva y se reproduzca.

De manera probabilística y basado en la aptitud de cada individuo, un mecanismo de selección elige "parejas" para el proceso de manipulación genética. Como en la naturaleza, la selección provee el mecanismo guía necesario para que sobrevivan las mejores soluciones. La política (táctica) de la selección es finalmente la responsable de asegurar que sobrevivan los individuos con mejor aptitud.

El siguiente paso es la reproducción sexual o cruce de los individuos seleccionados. Este proceso usa los operadores genéticos para manipular la "información genética" poseída por los miembros (padres) de la población actual. Es aquí, donde los sobrevivientes intercambiarán material cromosómico y sus progenie formará la siguiente población. La recombinación de material genético de una población en los Algoritmos Genéticos es simulado mediante un mecanismo de cruce que intercambia porciones entre las cadenas. El operador de mutación, causa alteraciones esporádicas y aleatorias, aplicándose eventualmente a algunos individuos para cambiar una parte de su material genético e introducir diversidad en la población. La mutación también tiene analogía con la naturaleza y tiene el papel de regenerar el material cromosómico perdido.

La progenie producida por los procesos de manipulación genética son la siguiente población a evaluar. Se puede reemplazar toda la población (**enfoque generacional**) o sólo los individuos con menor aptitud (**enfoque de estado estable**). El ciclo de creación, evaluación, selección, manipulación se repite hasta que se encuentra una **solución satisfactoria del problema** o hasta que se llega a algún otro **criterio de terminación**. Ya que los individuos seleccionados transmiten sus características a sus descendientes, la información histórica contenida en la población guía al Algoritmo Genético hacia regiones prometedoras del espacio de búsqueda.

Esta descripción del modelo computacional repasa los pasos necesarios para diseñar un Algoritmo Genético. Sin embargo, las implementaciones reales toman en cuenta parámetros dependientes del problema como el tamaño de la población, índices de cruce y mutación, y criterios de convergencia. Los Algoritmos Genéticos son muy sensibles a estos parámetros.

La aplicación más común de los Algoritmos Genéticos ha sido la solución de problemas de optimización, en donde han demostrado ser muy eficientes y confiables. Sin embargo, no todos los problemas pudieran ser

apropiados para la técnica, y se recomienda en general tomar en cuenta las siguientes características del mismo antes de intentar usarla:

- ✓ Su espacio de búsqueda debe estar delimitado dentro de un cierto rango.
- ✓ Debe poder definirse una función de aptitud que indique qué tan buena o mala es una cierta respuesta.
- ✓ Las soluciones deben codificarse en una forma relativamente fácil de implementar en la computadora.

El primer punto es muy importante, y lo más recomendable es intentar resolver problemas que tengan espacios de búsqueda discretos, aunque éstos sean muy grandes. Sin embargo, también podrá intentarse usar la técnica con espacios de búsqueda continuos, pero preferentemente cuando exista un rango de soluciones relativamente pequeño.

Un gran número de diferentes operaciones genéticas han sido introducidas desde que Holland propuso su modelo básico. Estas son en general versiones de la recombinación y procesos de alteración genética adaptados a los requerimientos de problemas particulares.

Los programadores enfrentan dos tareas importantes: diseñar el esquema de codificación y crear la función de aptitud. El esquema de codificación define cómo una cadena representará una solución del problema. La función de aptitud usa el esquema de decodificación para evaluar la aptitud de cada cadena. Combinando estas dos partes el Algoritmo Genético puede calcular qué tan bien resuelve el problema cualquier cadena. Si la codificación y la función de aptitud son bien diseñadas, la precisión no sufrirá alteraciones.

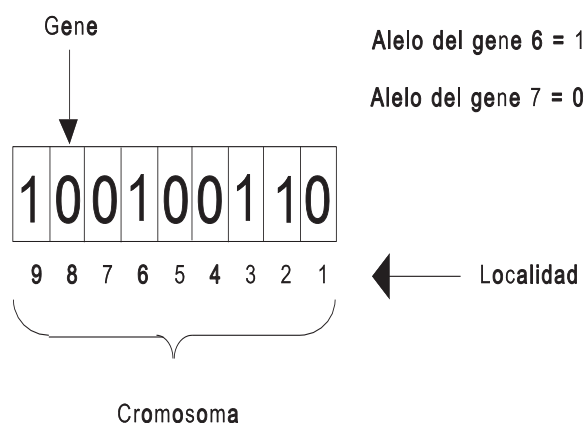
Esquema de codificación

El primer paso al escribir un Algoritmo Genético es crear el esquema de codificación. Un esquema de codificación es un método para expresar una solución en una cadena. Se han descubierto muchos tipos, pero no existe una técnica para crear uno. Tal como la programación, crear un esquema de codificación es parte ciencia y parte arte, pero también como en la programación, se va haciendo más fácil con la práctica. El mecanismo de codificación es fundamental para la estructura del Algoritmo Genético y depende de la naturaleza de las variables del problema.

Los Algoritmos Genéticos codifican información en cadenas, tal como los organismos vivos codifican sus características en cadenas de DNA (Acido Desoxirribonucleico). La codificación más común de las soluciones es a través de cadenas binarias aunque se han utilizado también cadenas de números reales, ordinales y letras. El primero de estos esquemas ha gozado de mucha popularidad debido a que es el que propuso originalmente Holland, y además porque resulta muy sencillo de implementar. En cada caso, el mecanismo de codificación debe mapear cada variable a una cadena binaria única (cromosoma), es decir, cada cadena de ceros y unos representa la versión codificada de una solución del problema de optimización. La población de cadenas binarias es esencial para el trabajo de los Algoritmos Genéticos.

Un gene, también conocido como característica o detector, se refiere a un atributo específico que está codificado en el cromosoma. Los valores particulares que puede tomar un gene son llamados sus alelos. La posición del gene en el cromosoma es su localidad (locus). Esto se muestra en la figura 5.5.

Figura 5.5. Gene



Fuente: Íbidem

Los primeros investigadores utilizaron la codificación binaria exclusivamente, pero alfabetos de orden más altos trabajan con igual eficiencia. El orden de un alfabeto define el número de diferentes caracteres en el alfabeto. No se debe confundir el término carácter con los caracteres ASCII. Un carácter en Algoritmos Genéticos es análogo a un gene debido a que tiene una posición y un valor. Un alfabeto binario tiene un orden de 2, lo cual significa que los caracteres sólo pueden tomar 2 valores, 0 ó 1.

Existe un gran número de Algoritmos Genéticos, en los que se está investigando y que se están utilizando, que no usan codificación en cadenas de bits. Algunos investigadores puristas dirán que éstos no son Algoritmos Genéticos verdaderos. El término programa evolutivo es aplicado algunas veces a Algoritmos Genéticos que usan otros tipos de estructuras.

Dos formas comunes de codificaciones genéticas alternativas usadas son con números reales u ordinales. Estas codificaciones usan cadenas de números reales u ordinales en vez de bits. De esta manera, en lugar de codificar cada parámetro en un Algoritmo Genético con muchos bits, se puede utilizar un solo número real. Con un esquema de numeración real no es necesario un paso de decodificación dado que los genes ya se encuentran en la forma en que se van a utilizar.

Un gran número de problemas de optimización tienen variables continuas de valores reales. Un método común para codificarlas es usando su representación entera. Cada variable es mapeada linealmente a un entero definido en un rango específico, y el entero es codificado usando un conjunto de bits. Por ejemplo, considérese una variable continua definida en el rango de -1.28 a 1.28. Se puede codificar esta variable continua con una exactitud de dos lugares decimales multiplicando su valor real por 100 descartando la parte decimal del producto. De este modo, el valor que la variable alcanza es mapeado linealmente a enteros entre el rango de [-128,128]. El código binario correspondiente a cada entero puede ser fácilmente calculado. Este procedimiento se muestra en la figura 5.6.

Figura 5.6. Código binario correspondiente a cada entero

Rango [1.28 , 1.28]

$$1.28 \times 100 = 128$$

$$1.28 \times 100 = 128$$

$$128_{10} = 1110000000_2$$

$$128_{10} = 10000000_2$$

Rango [1110000000 , 10000000]

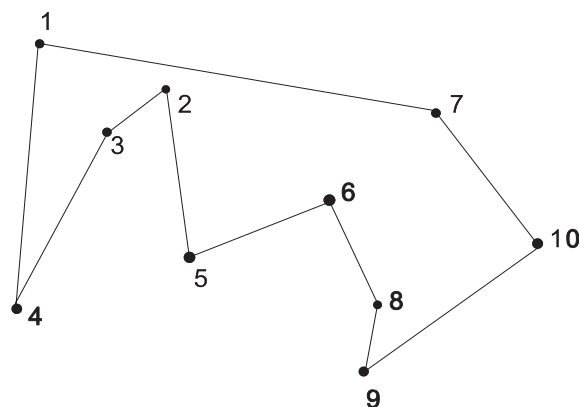
Fuente: Íbidem

Un ejemplo de un dominio en donde las codificaciones reales son útiles es en la optimización de diseños de ingeniería. Aquí, generalmente existe un gran número de parámetros reales que describen las opciones de diseño que se pueden realizar. Encontrar un diseño cercano al óptimo para una aplicación dada es por lo regular una tarea ardua. Debido al gran espacio de parámetros, las cadenas de bits podrían traer resultados pobres. Además, las codificaciones reales podrían ser más intuitivas para el ingeniero y permitirle incorporar otro tipo de algoritmos en el proceso de optimización. Esto se conoce como hibridización del Algoritmo Genético.

Otra clase de problema de optimización que requiere un esquema de codificación diferente es la optimización combinatorial. Esta se refiere a la optimización del orden de algunas operaciones en vez de a la de un conjunto de parámetros de control. Un ejemplo de esto es el problema del agente viajero. En este problema se tiene a un agente que debe tomar una ruta a lo largo del país visitando varias ciudades y regresando al origen. El agente no puede ir a ninguna ciudad más de una vez. El objetivo es buscar un plan de viaje que minimice la distancia total recorrida. No es obvio que este algoritmo pueda mapearse a una codificación de bits, aunque si se ha hecho. Una codificación más natural es usar cadenas de números ordinales. Estos son enteros positivos simples que describen el orden en el que se deben visitar las ciudades (asumiendo que cada ciudad tiene asociado un número). Existen varios métodos de codificación para este problema, la figura 5.7 ilustra el método conocido como codificación de ruta.

Figura 5.7. Descripción del método conocido como codificación de la ruta.

Genotipo ordinal que representa una ruta:
[1, 4, 3, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 7]



Fuente: Íbidem

Cuando se trabaja con codificaciones ordinales, es necesario crear tanto los operadores de mutación como de cruce que sean específicos para esta forma de codificación. Los tipos de operadores normales para cadenas de bits y reales son problemáticos cuando se aplican a ordinales. La razón es que los operadores como cruce de un sólo punto y mutación estándar pueden causar la generación de individuos inválidos. Un cromosoma ordinal no debe contener ordinales duplicados y debe tener a cada ordinal en su rango⁶³.

Función de aptitud

El siguiente paso es crear una función que evalúe qué tan bien resuelve el problema cada cadena, esto es, calcular la aptitud de las cadenas. Esta función debe reflejar tanto las propiedades de las soluciones deseadas como de las no deseadas, premiando a las primeras y penalizando fuertemente a las segundas.

La función objetivo provee el mecanismo para evaluar cada cadena. Sin embargo, su rango de valores varía de problema en problema. Para mantener uniformidad sobre varios dominios de problemas, se usa la función de aptitud para normalizar la función objetivo dentro de un rango conveniente $[M, N]$. El valor normalizado de la función objetivo es la aptitud de la cadena⁶⁴.

La implementación de la función objetivo y de las restricciones en un Algoritmo Genético son realizadas en la función de aptitud. Esta actúa como una función pseudo-objetivo, debido a que el resultado de la función objetivo es una medida sin refinar del valor de la solución. La inclusión de restricciones en la función de aptitud requiere la introducción de tolerancias que satisfagan las restricciones de las ecuaciones.

En la función de aptitud se crea una función matemática que asigna un valor numérico a cualquier solución posible. Una buena respuesta tiene una aptitud alta, una mala respuesta tiene una aptitud baja. Este valor de aptitud será usado después en la heurística básica que alarga la sobrevivencia del más apto de la población.

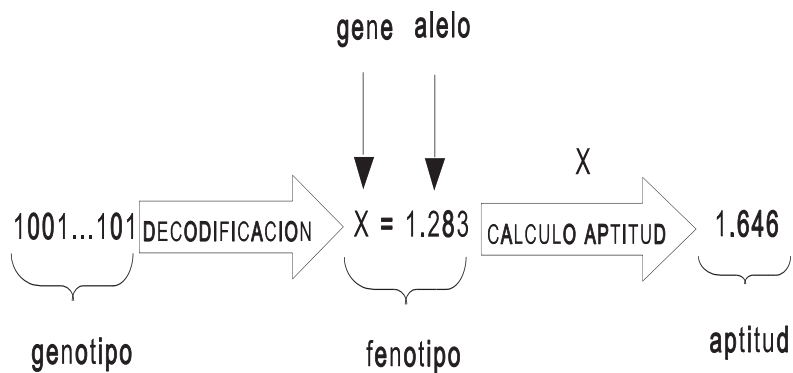
Dependiendo del problema, la medida de aptitud puede ser la rentabilidad de negocios, resultados de juegos, coeficiente de error o cualquier número de otro criterio.

⁶³ Ibidem pp. 51-59

⁶⁴ Ibidem p. 59

La función objetivo es usada para mapear las cadenas de bits del individuo a un número positivo (aptitud del individuo). Existen dos pasos involucrados en este mapeo. El primer paso es la decodificación y el segundo el cálculo de la aptitud. Para entender la decodificación se divide al individuo en dos partes comúnmente llamadas genotipo y fenotipo. Estos términos son tomados de biología. El genotipo, como su nombre lo implica, se refiere específicamente a la estructura genética de un individuo, esto es, la cadena de bits del individuo. El fenotipo se refiere a la apariencia observable de un individuo, es el resultado deseado, es decir, los parámetros del problema que producen su aptitud. Por lo tanto, la decodificación se refiere al proceso de mapear el genotipo al fenotipo, es decir pasar del código a los parámetros. Esto se muestra en la figura 5.8.

Figura 5.8. Mapeo del genotipo.



Fuente: Íbidem

El cálculo de la aptitud es sencillo una vez que el genotipo ha sido decodificado. Simplemente se usa una función para mapear los valores del parámetro del fenotipo a un número positivo, llamada aptitud.

Debido a la naturaleza de los Algoritmos Genéticos es más fácil referirse a ellos para resolver problemas de optimización que busquen máximos. Sin embargo, esto no impide usar los Algoritmos Genéticos para encontrar valores mínimos. Un problema de minimización puede siempre ser mapeado matemáticamente a uno de maximización. Pero, aunque el problema esté dado en términos de maximización, esto no garantiza que el resultado de la función sea positivo para todos los genes, como lo requiere la función de aptitud. Como resultado, es frecuentemente necesario mapear la función objetivo a la función de aptitud a través de uno o más mapeos.

En un problema de maximización de una función, la función de aptitud es frecuentemente la misma que la función que se esté optimizando. Si el dominio contiene valores negativos o si se está considerando un problema de minimización entonces simplemente se mapea la salida de la función a la forma requerida. Para valores negativos, simplemente se involucra una constante a la salida, de tal manera que sea recorrida al rango positivo. Para los problemas de minimización, se hace uso del siguiente hecho:

$$\text{Min}(f(x)) = \text{Max}(g(x)) = \text{Max}(-f(x))$$

Esto expresa que el mínimo de una función, $f(x)$, es equivalente al máximo de alguna otra función $g(x)$, donde para un $g(x)$ dado se tiene que $-1 * f(x)$ es verdadero. Si $-f(x)$ es negativo se puede simplemente agregar una constante C .

$$\text{Min}(f(x)) = \text{Max}(g(x) + C) = \text{Max}(-f(x) + C)$$

Un Algoritmo Genético genera una secuencia de parámetros para ser probados usando el modelo del sistema, función de aptitud y las restricciones. Simplemente se corre el modelo, se evalúa la función objetivo, y se checa si alguna restricción es violada. Si no, al conjunto de parámetros se le asigna el valor de aptitud correspondiente a la evaluación de la función objetivo. Si alguna restricción es violada, la solución no es viable y por lo tanto no tiene aptitud. Este procedimiento está bien excepto que muchos problemas prácticos son altamente restringidos y encontrar un punto viable es casi tan difícil como encontrar al mejor. Como resultado, se desea usualmente obtener más información acerca de soluciones no viables, quizás degradando el grado de aptitud en relación a el grado de violación de restricciones.

Los investigadores de Algoritmos Genéticos han encontrado varios enfoques para tratar las violaciones de restricciones⁶⁵. Algunos de estos enfoques son:

1) Eliminación

La eliminación intenta determinar si una cadena viola una restricción, incluso antes de que la cadena sea creada. Este enfoque tiene varios problemas. Primero, puede ser muy costoso desarrollarlo o simplemente

⁶⁵ Ibidem pp.

imposible. Segundo, prevenir la creación de violadores puede causar que un Algoritmo Genético deje pasar perfectamente soluciones válidas. Esto es importante debido a que los violadores pueden producir progenie legal que llevaría a una solución satisfactoria más rápidamente.

2) Multa grande

Este enfoque reduce el valor de los violadores mientras se les permite ocasionalmente propagar descendencia. Una debilidad de este enfoque se hace aparente cuando una población contiene un porcentaje grande de violadores. En este caso las cadenas legales dominarán las siguientes poblaciones y los violadores serán dejados sin explotar. Este efecto puede conducir a un estancamiento de la población.

3) Multa moderada

Este enfoque incrementa la probabilidad de que los violadores tengan progenie, de este modo reducen la posibilidad de un estancamiento de población. Sin embargo presenta algunos problemas, especialmente cuando los violadores obtienen mejor puntuación que las cadenas legales. En este caso, si los violadores no crean cadenas legales entonces los violadores dominarán las siguientes generaciones. Además, si los violadores obtienen mejor puntuación que las cadenas legales entonces el criterio para terminar la búsqueda debe incorporar un mecanismo para detectar violadores.

Inicialización

Después de que el esquema de codificación y la función de aptitud están integrados en el Algoritmo Genético, éste está listo para correrse. Ahora la tarea principal de un Algoritmo Genético es crear una población inicial de cadenas.

Existen varias formas de seleccionar una población inicial; los enfoques varían desde poner cada gene de cada cadena aleatoriamente hasta modificar los resultados de cada búsqueda hecha previamente.

La composición inicial de la población puede afectar dramáticamente el desempeño del Algoritmo Genético. Mientras más diversa sea la población inicial más oportunidades para explotar el espacio de búsqueda tendrá el Algoritmo Genético.

Los Algoritmos Genéticos son un ejemplo de procedimientos de búsqueda que usa la aleatoriedad como herramienta para guiar una búsqueda altamente explotable en un espacio de soluciones. Usar la aleatoriedad como herramienta en una búsqueda directa parece extraño al principio, pero la naturaleza contiene muchos ejemplos.

La población inicial debe ser lo suficientemente grande para crear un conjunto diverso de individuos que el Algoritmo Genético explore, pero no tan grande que la creación de la población inicial domine el tiempo de la computadora.

Selección de padres

Después de crear la población inicial, se procede a la selección. El operador de selección determina qué individuos de la población pasarán todo o algo de su "material genético" a la siguiente generación de individuos. Este operador modela el mecanismo de supervivencia del más apto de la naturaleza, es decir, las soluciones más aptas sobreviven mientras que las más débiles perecen.

La selección escoge a los individuos de la población probabilísticamente según el valor proporcionado por la función de aptitud, que depende del problema específico que se desea resolver. En los Algoritmos Genéticos, una cadena con valor de aptitud alto recibe un mayor número de hijos, por lo cual tiene mayor oportunidad de sobrevivir en la generación subsecuente. Esto significa que habrá más copias de los mejores individuos, aunque habrá algunas copias de los peores.

El primer paso en la creación de una nueva generación es la selección de dos padres. El Algoritmo Genético no selecciona las cadenas directamente por su rango en la población, de tal manera que la mejor cadena no tiene garantizado ser padre. En vez de eso, el valor de la cadena basado en su rango en la población influye en la probabilidad de que se seleccione esa cadena para ser padre en la siguiente generación. Si una cadena figura como la 25ta. mejor de 100 cadenas, entonces tiene 75% de probabilidad de convertirse en un padre. La figura 5.9 muestra una de las formas en las que J. E. Baker colocó las cadenas de acuerdo a su rango.

Figura 5.9. Colocación de las cadenas de acuerdo a su rango



Fuente: Ibidem

Un método de Algoritmos Genéticos para seleccionar padres es muy importante debido a que tiene un impacto significativo en la eficiencia de la búsqueda. El objeto del método de selección empleado en un Algoritmo Genético es dar a los individuos más aptos trato de crecimiento exponencial, es decir, recompensar a los individuos con mejor aptitud dejándolos reproducirse más frecuentemente. Esta es una de las formas en la que los Algoritmos Genéticos difieren de la búsqueda aleatoria. El operador de selección puede ser implementado de diferentes maneras. Los métodos de selección más comunes son:

La ruleta

Consiste en crear una ruleta en la que cada individuo tiene asignada una fracción proporcional a su aptitud. Se gira la ruleta y debido a que a los individuos más aptos se les asignó un área mayor de la ruleta se espera que sean seleccionados más veces que los menos aptos. De esta manera, las cadenas con mayor aptitud tendrán un número mayor de progenie en la generación siguiente. Como se puede ver, es la implementación de la ruleta la que requiere de valores de aptitud positivos en donde los valores más altos indiquen mayor aptitud. Es por esto que los problemas de maximización encajan perfectamente con este paradigma, fracciones más grandes implican aptitudes mayores. Los valores negativos no son permitidos porque, obviamente, no es posible tener una fracción de tamaño negativo. Cada vez que se requiera más progenie, una simple vuelta de la ruleta proporcionará el candidato a reproducirse. El algoritmo selecciona cadenas en esta forma hasta que se ha generado la población entera de la siguiente generación.

Procedimiento:

1. Sumar todos los valores de la aptitudes de la población actual. Este valor es llamado SumaAptitudes. SumaAptitudes corresponde al área total de la ruleta.
2. Generar un número aleatorio entre 1 y 0, llamado Aleatorio.
3. Multiplicar SumaAptitudes por Aleatorio para obtener un número entre 0 y SumaAptitudes llamado ValorRuleta. ($\text{ValorRuleta} = \text{SumaAptitudes} \times \text{Aleatorio}$). Considérese a este valor como la distancia que la pelotita imaginaria de la ruleta viaja antes de caer en una fracción.
4. Finalmente sumar los valores de aptitud (tamaños de las fracciones) de los individuos de la población hasta que se encuentre a un individuo que haga esta suma parcial mayor o igual a ValorRuleta. Este será entonces el individuo seleccionado.

Supóngase una población ejemplo que consta de 6 cadenas, con los valores de aptitud y los porcentajes de las aptitudes de cada individuo de la población que se muestran en la Tabla. Sumando las aptitudes de

todos los individuos de la población se obtiene un total de 105. La ruleta para esta población se muestra en la figura. Dado el problema ejemplo, para seleccionar los individuos de la siguiente generación se gira la ruleta 6 veces. La cadena número 1 tiene un valor de aptitud de 30, lo cual representa el 29% de la aptitud total de la población. En cada giro de la ruleta se obtiene como resultado la cadena 1 con una probabilidad de 0.29. La tabla contiene también una muestra de 6 números aleatorios con el correspondiente ValorRuleta y las cadenas seleccionadas para el ejemplo.

Tabla 5.1 Valores de aptitudes de una población de seis individuos.

Cadenas	Aptitudes	Fracción	# Hijos	Aleatorio	Valor de la Ruleta	Selección
1	30	29	2	0.28	29.4	1
2	10	9	0	0.87	70.35	4
3	15	14	1	0.74	77.70	4
4	25	24	3	0.63	66.15	4
5	5	5	0	0.41	43.05	3
6	20	19	0	0.24	25.20	1
	105	Suma de Aptitudes				

Fuente: Ibidem

Una posible implementación del método de la ruleta es la que se muestra en el cuadro 5.3⁶⁶:

Cuadro5.3. Implementación del método de la ruleta

```

/*-----
Ruleta(Suma_Aptitudes)
{
i=0;
Suma_Parcial=0;
ValorRuleta = aleatorio() * Suma_Aptitudes;
do
{
Suma_Parcial = Suma_Parcial + Pob[i].Aptitud;
i = i + 1;

```

⁶⁶ Ibidem p. 65-73

```

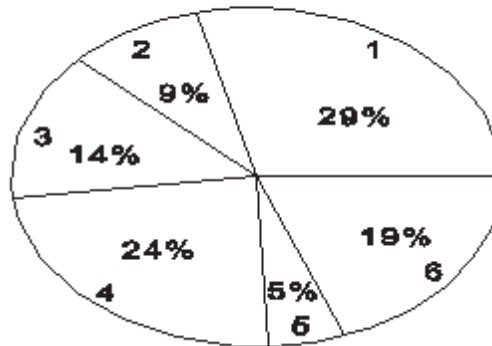
}while (Suma_Parcial >= ValorRuleta || j == Tamaño_Pob);
return i;
}
/*-----

```

Fuente: Ibidem

Figura 5.10 Valores en porcentaje de los individuos de la tabla.

Ruleta de Selección



Fuente: Ibidem

El método de la ruleta no siempre es justo, debido a que las fluctuaciones aleatorias (errores estocásticos) pueden causar que el número final de hijos asignados a un individuo varíe significativamente del número esperado. El número de hijos asignados se acerca al número esperado sólo en poblaciones de tamaños muy grandes.

Torneo Estocástico

En este método se hace competir a los cromosomas que integran la población en grupos de tamaño predefinido, en un torneo del que resultarán ganadores aquellos que tengan valores de aptitud más altos. Si se efectúa un torneo binario (competencia por parejas), entonces la población se debe dividir 2 veces de manera aleatoria. Nótese que esta técnica garantiza la obtención de múltiples copias del mejor individuo entre los progenitores de la siguiente generación (si se efectúa un torneo binario, el mejor individuo será seleccionado dos veces). Cada vez que se desee seleccionar a un individuo para reproducirse, se elige al mejor de cada grupo, el cual gana con una probabilidad fija, típicamente de 0.80. Por lo cual usualmente, pero no siempre, se copia el mejor individuo a la nueva población. Nótese que si la probabilidad es mayor de 0.80, la presión selectiva será mayor, es decir, será más difícil para los individuos menos aptos ser

copiados a la nueva población. Mientras que un valor más pequeño producirá menos presión selectiva. Si se usa 0.5, no habrá ninguna presión selectiva.

Procedimiento:

- 1.- Seleccionar aleatoriamente dos individuos distintos de la población.
- 2.- Generar un número aleatorio entre 0 y 1, llamado aleatorio.
- 3.- Si aleatorio es menor que 0.8 copiar el individuo más apto de los seleccionados a la nueva población.
- 4.- Si no copiar el menos apto.

Tabla 5.2. Población con diferentes valores de aptitud.

Cadenas	Aptitudes	# Hijos	Individuo 1	Individuo 2	Aleatorio	Selección
1	30	2	2	3	0.35	3
2	10	0	1	5	0.57	1
3	15	1	4	6	0.80	8
4	25	1	1	3	0.12	1
5	5	0	6	5	0.46	5
6	03	2	2	4	0.65	4

Fuente: Ibidem

En la tabla 5.2 se muestra la población ejemplo con los correspondientes valores de aptitud. Siguiendo el pseudocódigo sugerido se obtienen 2 individuos de la población: individuo 2 e individuo 3, y un número aleatorio: 0.32. Dado que aleatorio es menor que 0.8 se selecciona el individuo más apto, que en este caso es el individuo 3. La selección del resto de los individuos de la siguiente generación es realizada de la misma manera, como lo muestra la tabla. Al final del procedimiento se observa que la cadena 1 tendrá dos hijos en la siguiente generación, según la columna de selección.

Una posible implementación del torneo estocástico es la que se muestra en el cuadro 5.4:

Cuadro 5.4. Implementación del Torneo Estocástico

```
/*-----
Torneo()
{
i = aleatorio() % Tamaño_Pob;
```

```

j = aleatorio() % Tamaño_Pob;
if (Pob[i].Aptitud > Pob[j].Aptitud)
{
    mayor = i; menor = j;
}
else
{
    mayor = j; menor = i;
}
if (aleatorio() < 0.8)
    return mayor;
return menor;
}
/*-----

```

Fuente: Ibidem

Selección proporcional

A una cadena con valor de aptitud a_i se le asignan $a_i / \bar{a}$ hijos, donde $\bar{a}$ es el valor de aptitud promedio de la población. A una cadena con valor de aptitud más alto que el promedio se le asigna más de un hijo, mientras que a una con un valor de aptitud más bajo que el promedio no se le asignan hijos. Por lo tanto, el número $a_i / \bar{a}$ representa el número esperado de hijos de la cadena. La técnica de asignación controla el grado al cual la asignación de hijos a cadenas es igual al número esperado de hijos $a_i / \bar{a}$.

Procedimiento:

1. Obtener el promedio de las aptitudes de los individuos de la población.
2. Para cada individuo calcular el número de hijos que tendrá en la siguiente generación de acuerdo con la formula.
3. Llenar la nueva población con los individuos seleccionados.

En la tabla se muestra la población de los ejemplos anteriores. Sumando las aptitudes de todos los individuos de la población se obtiene un total de 105. El promedio de las aptitudes es igual a 17.5. Siguiendo el pseudocódigo anterior, para obtener el número de hijos que le corresponde a la cadena 1 se

divide su valor de aptitud entre el promedio de las aptitudes, en este caso $30/17.5$ lo cual da como resultado 2, esto significa que la cadena 1 dará dos hijos a la siguiente generación. Este proceso se realiza para todos los individuos de la población, tal como lo muestra la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Suma de aptitudes.

Cadenas	Aptitudes	# de Hijos
1	30	$30/17.5=2$
2	10	$10/17.5=1$
3	15	$15/17.5=1$
4	25	$25/17.5=1$
5	5	$5/17.5=0$
6	20	$20/17.5=1$

Fuente: Ibidem

Suma de Aptitudes = 105

$$F=105/6=17.5$$

Una posible implementación del método de selección proporcional es la que se muestra en el cuadro 5.5:

Cuadro 5.5. Implementación del método de selección proporcional

```

/*-----
Sel_Proporcional(Suma_Aptitudes)
{
    Prom_Aptitudes = Suma_Aptitudes / Tamaño_Pob;
    for (i=0, k=0; k < Tamaño_Pob; i++)
    {
        hijos = Pob[i].Aptitud / Prom_Aptitudes;
        for (j=0; j < hijos; j++)
        {
            Seleccionados[k] = Pob[i];
            k++;
        }
    }
}
/*-----

```

Fuente: Ibidem

Selección lineal

Keith Grant (1995) dice en el artículo *"An introduction to Genetic Algorithms"* de la revista *c/c++ User Journal* que *"la selección lineal es de mejor comportamiento que la selección proporcional, debido a que ésta última ha requerido de muchos arreglos de su diseño original a través de los años"*. La selección lineal simplemente calcula la aptitud de una cadena y entonces la clasifica con la población entera dependiendo de su rango. Es decir, la población es clasificada de acuerdo al valor de la función objetivo. Este proceso involucra dos operaciones aleatorias. Oper1 selecciona aleatoriamente una cadena de la población y Oper2 determina si dicha cadena tendrá un hijo, por medio de la ejecución de una probabilidad basada en el rango de la cadena. Si la cadena no califica como padre, entonces Oper2 repite el ciclo y selecciona aleatoriamente otra cadena de la población.

Procedimiento:

1. Obtener dos números aleatorios, S_1 y S_2 , hasta que S_2 sea mayor que S_1 .
2. Regresar la cadena del rango $(S_2 * \text{Tamaño_Pob})$ de la población.

Tabla 5.4: Método de selección lineal

Cadenas	Aptitudes	# Hijos	S_1	S_2	$S * \text{Tam_pob}$	Selección
1 = pob[0]	30	2	.13	.41	.41*6=2.46	Pob[2]=cad3
2 = pob[1]	10	0	.12	.50	.50*6=3	Pob[3]=cad4
			.75	.20		
3 = pob[2]	15	1	.09	.10	.10*6=.6	Pob[0]=cad1
4 = pob[3]	25	2	.53	.94	.94*6=5.64	Pob[5]=cad6
			.90	.90		
5 = pob[4]	5	0	.21	.61	.61*6=3.66	Pob[3]=cad4
6 = pob[5]	20	1	.08	.30		
			.02	.15	.15*6=.9	Pob[0]=cad1

Fuente: Ibidem

La tabla muestra nuevamente la población ejemplo. Según el pseudocódigo anterior se obtienen 2 números aleatorios $S_1 = 0.13$ y $S_2 = 0.41$. Dado que S_2 es mayor que S_1 se selecciona la cadena del rango $0.41 * 6 = 2$. Pob[2] es igual a la cadena 3. El resto de los individuos que formarán la siguiente generación se obtiene de la misma manera, tal como lo muestra la figura.

Una posible implementación del método de selección lineal es la que se muestra en el cuadro 5.6:

Cuadro 5.6. Implementación del método de selección lineal

```

/*-----
Sel_Lineal()
{
do
{
S1 = aleatorio();
S2 = aleatorio();
}while (S2() <= S1)
return (S1 * Tamaño_Pob);
}
/*-----

```

Fuente: Ibidem

La tabla muestra una comparación de los resultados obtenidos por los diferentes métodos de selección para la misma población. Estos resultados pueden variar en cada corrida para los métodos de la ruleta, torneo estocástico y selección lineal debido al uso de números aleatorios.

Tabla 5.5. Resultados obtenidos por los diferentes métodos de selección para la misma población

Cadena	Aptitudes	Ruleta	Torneo	Selección proporcional	Selección lineal.
1	30	2	2	2	2
2	10	0	0	1	0
3	15	1	1	1	1
4	25	3	1	1	2
5	5	0	0	0	0
6	20	0	2	1	1

Fuente: Ibidem

Reproducción sexual o cruza

Una vez realizada la selección se procede a la reproducción sexual de los individuos seleccionados. En esta etapa, los sobrevivientes intercambiarán material cromosómico y sus descendientes formarán la población de la siguiente generación.

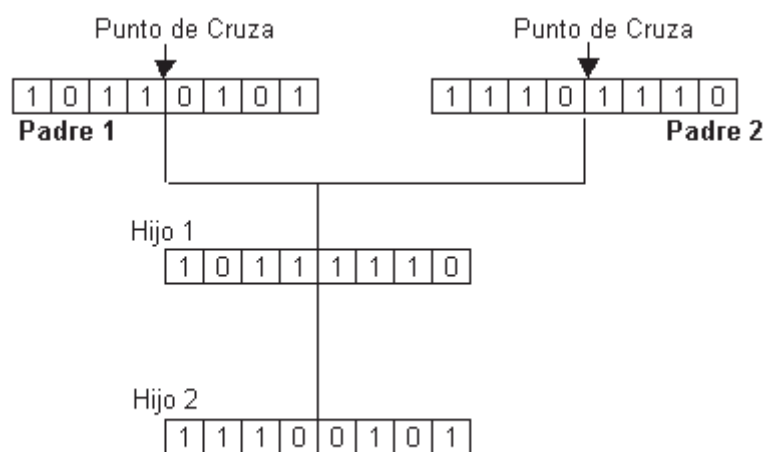
Es aquí, en la reproducción, en donde los individuos seleccionados en el paso anterior son apareados para producir descendencia. Este apareamiento es hecho mediante un operador genético comúnmente llamado **cruza**. La crusa es el proceso por el cual las cadenas de bits de dos padres se combinan para producir dos hijos. La progenie no reemplaza a sus cadenas padres, sino reemplaza a las cadenas con más baja aptitud, las cuales son descartadas en cada generación de tal forma que la población total permanezca del mismo tamaño⁶⁷.

Hay muchas formas en que se puede implementar la crusa. Algunas de ellas son aplicables ampliamente a todo tipo de problemas y otras son únicamente para problemas específicos. Las dos formas más comunes de reproducción sexual son: uso de un punto único de crusa y uso de dos puntos de crusa. La forma más primitiva de crusa, pero también la más eficiente es: crusa de un sólo punto.

Cruza de un solo punto

Este tipo de crusa comienza seleccionando un punto de crusa, el cual es una posición aleatoria de las cadenas entre 1 y $l-1$, donde l es la longitud de las cadenas. En seguida se realiza el intercambio de material de los 2 individuos. Los bits de la izquierda del punto de crusa en el padre1 son combinados con los bits de la derecha del punto de crusa del padre2 para formar el hijo1. Los segmentos opuestos son combinados para formar el hijo2, tal como lo muestra la figura 5.11

Figura 5.11. Cruza en un solo punto



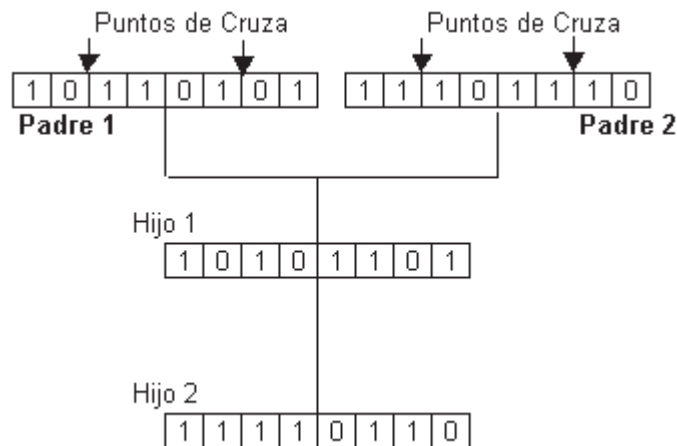
⁶⁷ Ibidem 74-77

Fuente: Ibidem

Cruza de 2 puntos

Cuando se usan 2 puntos de cruce, se procede de manera similar al método de un sólo punto de cruce, pero en este caso para el intercambio se eligen dos posiciones aleatorias entre 1 y $l-1$. En seguida se realiza el intercambio de material de los 2 individuos, el cual se realiza en la forma mostrada en la figura. La cruce de dos puntos elimina la tendencia de la cruce de un sólo punto de intercambiar material genético sólo en los bits de las orillas de las cadenas.

Figura 5.12 Cruza en dos puntos



Fuente: Ibidem

De esta manera el hijo1 y el hijo2 tenderán a ser diferentes de ambos padres pero reteniendo algunas características de ambos. Si cada uno de los padres tiene alta aptitud (lo cual es obvio por el hecho de que fueron seleccionados) entonces existe una buena posibilidad de que al menos uno de los hijos sea tan apto o mejor que sus padres. Si éste es el caso, entonces la selección favorecerá la creación de hijos, sino favorecerá la extinción de ellos.

Cruza uniforme

La cruce uniforme implica muchos puntos de cruce con una distribución de probabilidad igual a lo largo de cada cadena padre. Los fragmentos del primer padre combinados con los miembros complementarios del segundo padre crean dos nuevas cadenas. La cruce uniforme se lleva a cabo vía una máscara de cruce. Esta máscara es una cadena de bits aleatorios del mismo tamaño que las cadenas de la población y es

usada para decidir qué valores tomarán las cadenas hijos. Por ejemplo: si el valor del bit de la máscara en la primera posición es un 1, el hijo1 recibirá el valor del bit del padre1, si por el contrario, el valor es 0 recibirá el valor del bit del padre2. Este proceso continua para cada bit en la cadena. Para crear el hijo2, se realiza el procedimiento complementario, es decir, si el valor del bit es 0, el hijo recibirá el valor del bit del padre2, sino recibirá el del padre1. La figura 5.13 muestra un ejemplo de cruce uniforme.

Figura 5.13. Cruza uniforme

Máscara	1	0	1	0	0	1
Padre 1	0	0	0	0	1	0
Padre 2	1	1	1	0	0	1
Hijo 1	0	1	0	0	0	0
Hijo 2	1	0	1	0	1	1

Fuente: Íbidem

La cruce no siempre es efectuada. Existe una posibilidad (aunque pequeña) de que la mayoría o todas las cruces produzcan hijos de menor aptitud. Para contrarrestar esta posibilidad, se introduce el parámetro P_C que es la **probabilidad de cruce**. Antes de que la cruce sea llevada a cabo, se simula un lanzamiento de moneda para obtener verdadero (cara) con probabilidad P_C . Si un número generado aleatoriamente en el rango de 0 a 1 es mayor que P_C , se ejecuta la cruce. De otra manera los padres son pasados a la siguiente generación sin cambios. Dado que sin la cruce no hay esperanza de progreso, P_C es usualmente alto ($0.5 < P_C < 1.0$)⁶⁸.

Cuando se usa una codificación de valores reales con varios genes, la cruce de un solo punto puede ser utilizada. Sin embargo, una de las razones del uso de la codificación con reales es el explotar la habilidad de manipular los cromosomas directamente como cadenas de números. Esto sugiere que pueden ser más útiles otras forma de cruce. Una posibilidad de cruce es repartir proporcionalmente a los dos padres. Otra

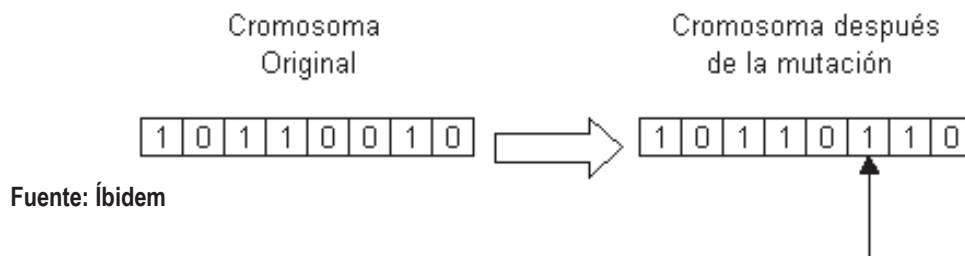
⁶⁸ Ibidem 77

podría ser utilizar promedios de peso, pesando a cada hijo contra un padre diferente. Incluso se podrían combinar las características de un punto de cruce con cruce por pesos. La imaginación y experimentación pueden llevar a diversos resultados basados en la naturaleza del problema.

Mutación

Después de la cruce, las cadenas son sujetas a mutación. El operador de mutación aparece para reducir la convergencia prematura cuando la población muestra poca diversidad, agregando nueva variedad por medio de la introducción de mutación aleatoria. La mutación por sí sola generalmente no dirige la búsqueda hacia una solución, pero provee el seguro para evitar el desarrollo de una población uniforme incapaz de una evolución posterior. A diferencia de la cruce, la mutación es un operador unitario, éste sólo actúa con un individuo a la vez. La mutación realiza un cambio a uno de los genes de un cromosoma elegido aleatoriamente. Cuando se usa una representación binaria, un bit se sustituye por su complemento. Esto se muestra en la figura 5.14

Figura 5.14. Proceso de Mutación



A pesar de que la mutación es importante, es secundaria a la cruce. Mucha gente cree erróneamente que la mutación juega el papel principal en la evolución natural, pero no es el caso. La razón por la cual la mutación tiende más a producir cambios perjudiciales e incluso destructivos que cambios beneficios es que un ambiente con niveles altos de mutación mataría casi a todos, o bien a todos, los organismos rápidamente. En los Algoritmos Genéticos, los índices altos de mutación causan que el algoritmo degenera en una búsqueda aleatoria.

La mutación modifica una pequeña fracción de las cadenas, aproximadamente uno de cada 10,000 símbolos es cambiado de 0 a 1, o viceversa. Las frecuencias de mutación son similarmente pequeñas en las poblaciones naturales, es debido a esto que se concluye que la mutación es apropiadamente un mecanismo secundario de la adaptación de un Algoritmo Genético. Por ejemplo: Supóngase que todas las cadenas de una población han convergido a 0 en una determinada posición. Entonces la cruce no puede regenerar a 1 en esa posición, mientras que la mutación si. Al igual que la cruce, la mutación se maneja

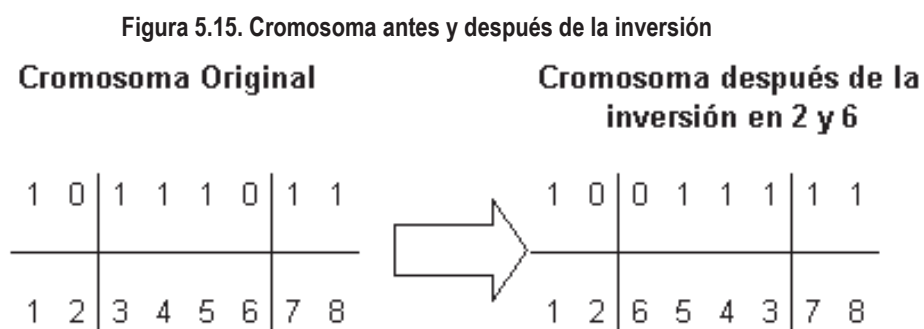
como un porcentaje que indica con qué frecuencia se efectuará, aunque se distingue de la primera por ocurrir mucho más esporádicamente. El porcentaje de cruce normalmente es de más del 60%, mientras que el de mutación normalmente nunca supera el 5%.

Así como la P_C controla la probabilidad de cruce, otro parámetro P_M , da la **probabilidad de mutación**. Cuando los bits están siendo copiados de padre a hijo, se simula un lanzamiento de moneda, si se obtiene verdadero (cara) entonces el bit se invierte antes de copiarse. Por lo tanto, P_M es la probabilidad de que la moneda simulada obtenga verdadero. Como ya se dijo anteriormente P_M es pequeña ($0 \leq P_M \leq 0.1$). Los bits de una cadena son mutados independientemente, esto es, la mutación de un bit no afecta la probabilidad de mutación de otros bits.

La mutación en codificaciones de reales también presenta al diseñador una gran variedad de opciones. La más sencilla sería reemplazar completamente un gene real con otro generado aleatoriamente. También se puede promediar un número aleatorio con el gene existente. Otra buena posibilidad es agregar o restar un factor pequeño al valor del gene. La opción y los resultados otra vez dependen del problema que se esté tratando.

Inversión

La inversión es un proceso que cambia la localidad (locus) de uno o más genes en un cromosoma de un lugar a otro. Se seleccionan dos puntos a lo largo del cromosoma, en donde éste será cortado. Después, los puntos de los extremos de la sección cortada intercambian lugares. Por ejemplo: considérese la siguiente cadena de 8 posiciones en donde se seleccionaron aleatoriamente los puntos 2 y 6 para la inversión. La figura 5.15 muestra el cromosoma antes y después de la inversión.



Fuente: Íbidem

El genotipo antes y después de la inversión decodificará el mismo fenotipo. La teoría detrás de la inversión es que hay grupos de dos o más genes en un cromosoma que trabajan juntos para producir una alta aptitud. Si estos genes están físicamente juntos entonces la posibilidad de que la cruza de un solo punto perturbe estos grupos será menor. A pesar de que este argumento suena razonable, la inversión usada en la práctica ha logrado resultados confusos. Es por esto que no es usada tan frecuentemente como la mutación o la cruza en la mayoría de los Algoritmos Genéticos.

Control de parámetros

El funcionamiento de los Algoritmos Genéticos puede ser visualizado como una combinación balanceada de exploración de nuevas regiones en el espacio de búsqueda y la explotación de regiones ya probadas. Este balance, que de manera crítica controla el funcionamiento de los Algoritmos Genéticos, es determinado por la selección correcta de los parámetros de control: las probabilidades de cruza, mutación y el tamaño de la población.

La selección óptima de los parámetros de control ha sido debatida tanto en investigaciones analíticas como empíricas. Aquí se señalan los resultados que surgen:

- ✓ Incrementar la probabilidad de mutación incrementa la recombinación de bloques constructivos, pero también incrementa la ruptura de buenas cadenas.
- ✓ Incrementar la probabilidad de mutación tiende a transformar la búsqueda genética a búsqueda aleatoria, pero también ayuda a reintroducir material genético perdido.
- ✓ Incrementar el tamaño de la población incrementa su diversidad y reduce la probabilidad de que el Algoritmo Genético converja prematuramente a un óptimo local, pero también incrementa el tiempo requerido para que la población converja a las regiones óptimas en el espacio de búsqueda.

No se pueden seleccionar los parámetros de control hasta que se consideren las interacciones entre los operadores genéticos. Debido a que no pueden ser determinados independientemente, la selección de los parámetros de control puede ser por sí misma un problema complejo de optimización no lineal. Más aún, se está haciendo evidente que los parámetros de control óptimos dependen de la naturaleza de la función objetivo.

Muchos investigadores han propuesto combinaciones de parámetros de control que garantizan un buen desempeño. Dos combinaciones distintivas de parámetros de control han surgido: uno tiene una población pequeña y probabilidades de cruce y mutación relativamente grandes, mientras que la otra tiene un tamaño de población grande, pero probabilidades de cruce y mutación mucho más pequeñas. Los valores típicos de estas dos combinaciones son⁶⁹:

1.- Probabilidad de cruce: 0.6,

Probabilidad de mutación: 0.001,

Tamaño de la población: 100.

2.- Probabilidad de cruce: 0.9,

Probabilidad de mutación: 0.01,

Tamaño de la población: 30.

La primera combinación de parámetros claramente da a la mutación un rol secundario, mientras que la segunda la hace más significativa. La alta probabilidad de cruce de 0.9 en la segunda combinación también indica que un nivel alto de ruptura de cadenas es deseable en poblaciones pequeñas.

Poblaciones grandes llevan a un mejor desempeño final fuera de línea (convergencia) debido a la gran alberca de diversos esquemas disponibles en una población más grande. La inercia de una población más grande también lleva a esperar un desempeño inicial en línea pobre. Por otro lado, poblaciones más pequeñas tienen la habilidad de cambiar más rápidamente y por otro lado exhibir un mejor desempeño inicial en línea.

Características de los algoritmos genéticos

Robustez

Los Algoritmos Genéticos tienen como cualidad la robustosidad. El término robustosidad es usado para referirse a la habilidad de los Algoritmos Genéticos de desempeñarse consistentemente bien en un extenso rango de tipos de problemas. Esto es, mientras que algoritmos de caso especial deben encontrar más soluciones óptimas a problemas específicos, los Algoritmos Genéticos se desempeñan bastante bien en un número grande de categorías de problemas. Esta robustosidad resulta en parte porque los Algoritmos Genéticos usualmente aplican su búsqueda en un conjunto grande de puntos, en vez de a un solo punto,

⁶⁹ Ibidem pp.80 - 81

como lo hacen los algoritmos basados en cálculos. Debido a esto, los Algoritmos Genéticos no son capturados por mínimos o máximos locales. Otra contribución de su robustosidad es que los Algoritmos Genéticos usan la aptitud de las cadenas para dirigir la búsqueda; de tal forma que no requieren ningún conocimiento, acerca del espacio de búsqueda del problema específico, y pueden operar bien en espacios de búsqueda discontinuos, con saltos, o ruido.

El tema central de la investigación de Algoritmos Genéticos ha sido la robustosidad, el balance entre la eficiencia y la eficacia necesarias para sobrevivir en varios ambientes diferentes. Las implicaciones de robustosidad para sistemas artificiales son muchos. Si los sistemas artificiales son construidos más robustos, los costos de rediseño pueden ser reducidos o eliminados. Si se pueden alcanzar mayores niveles de adaptación, los sistemas existentes pueden desempeñar sus funciones por más tiempo y mejor. Los Algoritmos Genéticos están probados empírica y teóricamente para proveer búsquedas robustas en espacios complejos. Estos algoritmos son a la vez computacionalmente sencillos y poderosos en su búsqueda por el mejoramiento.

Paralelismo implícito

Una de las cualidades más importantes de los Algoritmos Genéticos es su habilidad para evaluar varias posibles soluciones simultáneamente. Esta habilidad, llamada Paralelismo implícito, es la base principal del poder de los Algoritmos Genéticos. El Paralelismo implícito resulta de la evaluación simultánea de los numerosos bloques de construcción que componen una cadena. Cada cadena contiene millones de estos bloques de construcción, y los Algoritmos Genéticos los evalúan a todos simultáneamente cada vez que calculan la aptitud de las cadenas. En efecto, el algoritmo selecciona patrones dentro de la cadena que muestran alto desempeño, y pasa estos bloques constructivos a la siguiente generación. Este proceso de selección habilita a los Algoritmos Genéticos a desempeñarse bien donde los algoritmos tradicionales no pueden, tal como en problemas con espacios de búsqueda grandes. El paralelismo implícito les da a los Algoritmos Genéticos su principal ventaja sobre otros métodos de solución de problemas, debido a que al manipular una población de unos cuantos cientos de cadenas realmente explora un gran número de regiones. También ayuda a los Algoritmos Genéticos a lidiar con problemas no lineales.

Diferencias de los algoritmos genéticos de los métodos tradicionales

Para que los Algoritmos Genéticos superen a sus primos más tradicionales en la busca de robustosidad deben diferir en algunas formas muy fundamentales. Los Algoritmos Genéticos son diferentes de los demás procedimientos de búsqueda y optimización en 4 formas:

1. Los Algoritmos Genéticos trabajan con una codificación del conjunto de parámetros, no con los propios parámetros. El objetivo de un problema es crear una codificación para trabajar y de ésta obtener el máximo valor posible. Con otros métodos de optimización se tiene que trabajar con el conjunto de parámetros directamente.
2. Los Algoritmos Genéticos buscan en una población de puntos, no punto por punto. En muchos problemas de optimización, los movimientos se realizan cuidadosamente desde un solo punto en el espacio a el siguiente utilizando alguna regla de transición para determinar el siguiente punto. Este método punto a punto es peligroso debido a que es una prescripción perfecta para localizar máximos falsos en espacios de búsqueda multimodales. Por el contrario, los Algoritmos Genéticos escalan varios máximos en paralelo, por lo tanto, la probabilidad de encontrar un máximo falso se reduce en comparación con los métodos punto a punto.
3. Los Algoritmos Genéticos usan la información resultado (función objetivo), no derivadas u otro conocimiento auxiliar. Muchas técnicas de búsqueda requieren mucha información auxiliar para poder trabajar apropiadamente, tal como las técnicas de gradiente que necesitan de las derivadas. En contraste, los Algoritmos Genéticos desempeñan una búsqueda efectivamente de mejores y mejores estructuras y sólo requieren de los valores resultantes. Esta característica hace a un Algoritmo Genético un método más canónico que varios de los otros esquemas. Después de todo, cada problema tiene una o varias métricas relevantes.
4. Los Algoritmos Genéticos usan reglas de transición probabilísticas, no reglas determinísticas. El uso de probabilidad no sugiere que el método es simplemente una búsqueda aleatoria. Los Algoritmos Genéticos usan la opción aleatoria como una herramienta para guiar la búsqueda hacia regiones del espacio de búsqueda con mejoras verosímiles.

El Hospital General “Dr. Miguel Silva” (HGMS), su servicio de Consulta Externa; organización y procesos.

Como fecha de aniversario de la fundación del Hospital General “Dr. Miguel Silva” de Morelia (HGMS), se reconocen dos momentos; el primero, cuando comenzó a fungir como institución, el 16 de julio de 1901 cuando se concluye e inaugura el Hospital General de Michoacán y la escuela de Medicina, que impartía los cursos de Medicina, Farmacia y Enfermería, en la calle Nacional (hoy avenida Madero Poniente) en donde actualmente se encuentra la clínica No. 80 del Seguro Social y el segundo, el 14 de septiembre de 1956 cuando se inaugura el edificio donde actualmente se ubica, entre la esquina de Isidro Huarte y Samuel Ramos, ya con el nombre de Hospital General “Dr. Miguel Silva” (HGMS) ⁷⁰.

El HGMS, pertenece a la jurisdicción sanitaria No. 1 de la Secretaría de Salud de Michoacán y presta atención a la población abierta. De acuerdo a la complejidad de la atención que proporciona, es de segundo nivel es decir, que atiende los problemas que le sean referidos de primer nivel, ofrece intervenciones ambulatorias⁷¹ (servicio de consulta externa) y hospitalarias por especialidades básicas como ginecología, obstetricia, gastroenterología, cardiología, urología, entre otras. Asimismo, cuenta con una unidad de investigación y enseñanza, laboratorio clínico y se realizan intervenciones quirúrgicas mayores de poca complejidad⁷².

La misión y visión de esta unidad de salud son:

Misión

Garantizar el acceso a los servicios de salud de la población abierta y la formación de recursos humanos, **comprometidos en la calidad de la atención**, asistencia y docencia para el bienestar social.

Visión

Ofrecer y garantizar servicios de salud, con trato digno, eficiente, seguro y accesible, **a través de la mejor tecnología** e investigación, con personal calificado, responsable y excelencia en la formación de recursos humanos.

⁷⁰ Ballesteros H. *175 años de la Facultad de Cs. Médicas y Biológicas “Dr. Ignacio Chávez” de la Universidad Michoacana*. Bol. Mex. His. Fil. Med. 2006; 9(1): 21-30

⁷¹ Servicio para pacientes ambulatorios que tiene a su cargo la atención a domicilio y los programas de medicina preventiva. Término aplicado a la unidad o zona del centro de salud u hospital en donde se atiende a pacientes ambulatorios, es decir, que asisten por su propio pie, para diagnóstico o tratamiento.

⁷² Barquín 2003. Op. Cit. pp. 34-45

Actualmente, su organización es de tipo vertical y se describe a continuación:

DIRECTOR

Dr. José Carlos Pineda Márquez

SUB-DIRECTOR MÉDICO:

SUB-DIRECTOR ADMINISTRATIVO:

MATUTINO: Dr. Soledad Castro García

Lic. Humberto Núñez Sánchez

VESPERTINO: Dr. Alfredo Córdoba Arreola

NOCTURNO "A":

NOCTURNO "B": Dr. Javier Jesús Meza González

J. ACUM. :

J. ACUM. NOCTURNO:

SERVICIOS GENERALES

Raúl Bejarano Guerrero

JEFES DE SERVICIOS:

1ER. PISO; GINECOLOGÍA Y OBSTETRICIA: Dra. Ana Gloria Alonso Mejía

2° PISO; CIRUGÍA: Dr. Javier Carrillo Silva

3ER. PISO; TRAUMATOLOGÍA Y ORTOPEDIA: Dr. Martín Cadenas Tovar

4° PISO; MEDICINA INTERNA: Dr. Antonio Alanís Ugarte

INVESTIGACIÓN: Dr. Juan Manuel Vargas Espinosa

URGENCIAS: Dr. Socorro Alvarado

JEFE DE ENFERMERAS: L.E. Marbella Damián Gómez

JEFE DE ANATOMÍA PATOLÓGICA: Dr. Jesús A. Villagrán Uribe

JEFE DE EPIDEMIOLOGÍA:

JEFE DE MANTENIMIENTO:

JEFE DE TRABAJO SOCIAL: T.S. M. Del Socorro Altamirano Gómez

Los turnos en que se proporciona la atención a la población son los siguientes:

Matutino: lunes a viernes, 7:30 – 15:00

Vespertino: lunes a viernes, 14:00 – 21:30

Nocturno “A”: lunes, miércoles y viernes, 20:30 a 8:30 hrs.

Nocturno “B”: martes, jueves y sábados, domingo , 20:30 a 8:30 hrs.

Mixto – 3 días en la mañana y uno en el nocturno

Descansos y festivos (jornada acumulada) 8:00 – 20:00 hrs.

De acuerdo con una entrevista llevada a cabo en el Departamento de Capacitación, para el año 2006 algunas estadísticas relevantes de este centro de salud, fueron las siguientes:

Infraestructura y Recursos Humanos

Tiene 217 camas censables y 55 no censables⁷³.

Tiene 1,095 trabajadores de base, de los cuales 184 son médicos, 150 son enfermeras y el resto personal administrativo y de intendencia.

Cuenta con 34 consultorios donde se brinda consulta externa de 27 especialidades; además, existen los siguientes servicios:

Clínica de Hígado

Clínica de Dolor

Terapia Intensiva

Audiología

Unidad de Hemodiálisis

Resonancia Magnética

Unidad de Rehabilitación

⁷³ Las camas censables son las camas de servicio, instaladas en el área de hospitalización para el uso regular de pacientes internos, mientras que las camas no censables son las que se destinan a la atención transitoria o provisional para observación del paciente, iniciar tratamiento o intensificar la aplicación de procedimientos médico-quirúrgicos

Unidad de Hemodinamia

Consulta Externa

SERVICIO	TOTAL
Consulta General	19,562
Consulta de Especialidad	66,317
Planificación Familiar	2,824
Dental	21,675
Salud Mental	2,480
TOTAL	112,858

Egresos por Servicio

Cirugía General	1,693
Medicina Interna	1,592
Neonatología	500
Ginecología y Obstetricia	5,960
Traumatología y Ortopedia	1,873
TOTAL	11,618

Los servicios con mayor demanda son los de ginecología y obstetricia, seguidos por los de cirugía general y medicina interna. Otra de las áreas con mayor demanda y productividad son los servicios de apoyo al diagnóstico o de estudios de gabinete y laboratorio.

Únicamente los departamentos de recursos humanos y algunas jefaturas de servicio cuentan con sistemas de cómputo para automatizar los procesos. El manejo de citas, estudios de laboratorio, control de cirugías, entre otros. Sigue manejándose a través de libretas y formatos de órdenes.

Análisis y selección del proceso a optimizar.

Desprendida del trabajo de campo, se presenta información relativa al servicio de consulta externa. Como se mencionó anteriormente, la atención ambulatoria o de los pacientes que acuden por su propio pie, se

proporciona a través del servicio de consulta externa, además en este servicio también se llevan a cabo algunos procedimientos quirúrgicos de poca complejidad, los cuales no requieren hospitalización en las especialidades de gastroenterología (endoscopia) y oftalmología (extracción extracapsular del cristalino, cierre de herida corneal, entre otras), Cuenta con un total de 27 especialidades que se practican en 34 consultorios, de manera alternada o exclusiva, es decir, algunas especialidades, por su finalidad y equipamiento, tienen un consultorio exclusivo, mientras que otras requieren compartir consultorio (hasta 4 especialidades por consultorio) y en donde se realizan un promedio de 309 consultas diarias en un horario de 7:30 a 20:00 hrs. Este servicio tiene una jefatura general, así como 9 jefaturas para las 27 especialidades.

Para que este servicio funcione adecuadamente, se realizan diferentes procesos de carácter administrativo y antes de proceder a enlistarlos y revisar cuáles son susceptibles de ser optimizados mediante el AG, se presentan algunas definiciones de lo que es un proceso, según diversas fuentes:

“Secuencia de actividades que tienen la finalidad de lograr algún resultado, generalmente crear un valor agregado para el cliente” (Evans y Lindsay, 2000: 341).

“Acción o sucesión de acciones continuas regulares, que ocurren o se llevan a cabo de una forma definida, y que llevan al cumplimiento de algún resultado; una operación continua o una serie de operaciones” (Diccionario de la Real Academia Española).

“Conjunto de acciones interrelacionadas e interdependientes que conforman la función de administración e involucra diferentes actividades tendientes a la consecución de un fin a través del uso óptimo de recursos humanos, materiales, financieros y tecnológicos” (INDAABIN. Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales. Glosario de términos sobre el patrimonio inmobiliario, 2000 http://www.indaabin.gob.mx/glosario_terminos/glosario_p.htm)

“Uso de los recursos de una organización, para obtener algo de valor. Así, ningún producto puede fabricarse y ningún servicio puede suministrarse sin un proceso, y ningún proceso puede existir sin un producto o servicio” (Krajewski y Ritzman, 2000).

“Serie de acciones sistemáticas dirigidas al logro de un objetivo previamente definido” (Juran).

“Serie de actividades relacionadas y ejecutadas con lógica para alcanzar resultados específicos” (Shaw, 2000)

“Secuencia de pasos, tareas o actividades que convierten las entradas en salidas” (Galloway, 1998).

“Grupos de actividades y tareas que juntas entregan valor al cliente, involucran muchas personas y departamentos y transforman entradas en salidas”. Estos están enfocados al cliente y a los resultados. (Josy, 2003)

“Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados” (Normas de Calidad ISO 9000:2000, apartado 3.4.1)

La cadena de valor formulada por Michael Porter (Harvard Business School) es uno de los modelos administrativos más conocidos y éste se refiere a los procesos como cadenas de la siguiente manera:

“Cadena de valor, por medio de su contribución a la creación de un producto o la entrega de un servicio”. Cada paso de un proceso añade valor al paso anterior y así hasta el último paso del mismo, en el que el cliente externo o interno recibe el producto o servicio solicitado.

Por otra parte, de acuerdo al paradigma empleado en la gestión, estos pueden ser clasificados, de acuerdo a su contribución al logro de los objetivos, en determinada forma. Por ejemplo, en el sistema de gestión de calidad ISO:9000, se maneja la clasificación: procesos estratégicos, procesos clave y procesos de soporte. Mientras que en la cadena de valor se clasifican en: procesos primarios y procesos de apoyo.

Los procesos se llevan a cabo por etapas o de manera paralela, implican el consumo de recursos y lo deseable, con los enfoques y teorías actuales de la administración, es que no sólo cumpla una meta (efectividad), sino que se realicen de manera eficiente y centrándose en el factor humano, tanto de quienes producen el servicio o producto, como de quienes lo van a consumir, lo cual es totalmente congruente con

lo que se desea del sistema nacional de salud de México y en particular el servicio de consulta externa del HGMS de Morelia, Michoacán. Cuyos procesos se describen a continuación^{74,75,76}

- Coordinación del servicio
- Programación de personal médico y paramédico
- Asignación de consultorios
- Recepción de pacientes
- Requisición y ministración de suministros
- Programación de citas
- Programación de estudios de laboratorio
- Programación de cirugías
- Referencia de pacientes a otras unidades hospitalarias

Así, el servicio de consulta externa del Hospital General “Dr. Miguel Silva”, por su complejidad e importancia proporciona un escenario idóneo para analizar cómo se puede mejorar la calidad de la atención a través de la aplicación del AG para mejorar u optimizar los procesos administrativos, ya que de acuerdo con el capítulo III de este trabajo, el AG permite encontrar una solución óptima o aproximada a problemas de asignación de recursos, cuyas condiciones o restricciones pueden ser formuladas o deducidas a través de la experiencia o la práctica. Además es aplicable a aquellos casos que tratan de la asignación de n tareas o cosas a m personas o cosas. En el caso de la mejora de los procesos de una institución del Sistema Nacional de Salud, en donde se presentan problemas de diferente naturaleza que plantean un reto específico, la utilización de AG permite optimizar o encontrar una solución aproximada para estos problemas, de una manera generalizada, pero adecuada, con la ventaja de que cualquiera que comprenda la teoría de la evolución, su terminología y sepa un poco de programación, puede implementar un sistema de apoyo a los procesos.

De acuerdo con lo anterior, ¿Cuáles son los procesos que son susceptibles de ser mejorados en el servicio de consulta externa del HGMS?

⁷⁴ Diagnóstico situacional del servicio de consulta externa del HGMS, 2006

⁷⁵ Manual de procedimientos del servicio de consulta externa del HGMS, 2006

⁷⁶ Manual de organización del servicio de consulta externa del HGMS, 2006

En la literatura consultada se encontraron aplicaciones del AG en el ámbito de las instituciones de salud, como la asignación de salas de operación y la programación y rotación del personal^{77,78,79,80}. En general aquellos procedimientos que impliquen la asignación de n elementos o personas a m tareas o servicios. En el caso del servicio de consulta externa, mediante el análisis de las tareas que ahí se realizan, se identificaron que los procedimientos potenciales para ser mejorados mediante el AG son:

- ✓ La elaboración de roles del personal médico y paramédico
- ✓ La asignación de consultorios
- ✓ La programación de estudios de laboratorio
- ✓ La programación de citas

Todos estos procesos implican la gestión de recursos materiales, físicos, humanos y tecnológicos, por lo que la realización de los mismos de manera eficiente, significa una mejora en la calidad en la atención de salud. Para propósitos de este trabajo, se han seleccionado la programación del personal, particularmente el de enfermería, por estar documentado y las facilidades para contar con la información necesaria para su modelado. Éste proceso ha sido analizado y se identificaron las restricciones prácticas para su modelado y programación, obteniéndose la mejor combinación para minimizar el costo y cubrir el perfil requerido en cada consultorio.

La figura 5.16 ilustra el diagrama del proceso de programación del personal de enfermería.

⁷⁷ Aicklein U. The nurse rostering with Genetic Algorithm. Young operational research conference, Reino Unido, 1998.

⁷⁸ Aicklein U., Dowsland K. An indirect Genetic Algorithm for a nurse scheduling problem. Computers & Operations Research, 31(5), pp 761-778, 2004.

⁷⁹ Boyd J. Genetic Algorithm for scheduling of laboratory personnel. Clinical Chemistry 2001 Vol 47(1) 118-123

⁸⁰ Tsoy G., Arnaout J., Smith T., Rabadi G. A Genetic Algorithm approach for surgery operating rooms. Scheduling problem. American Sociating for Engineering Management. Conferencia 2004

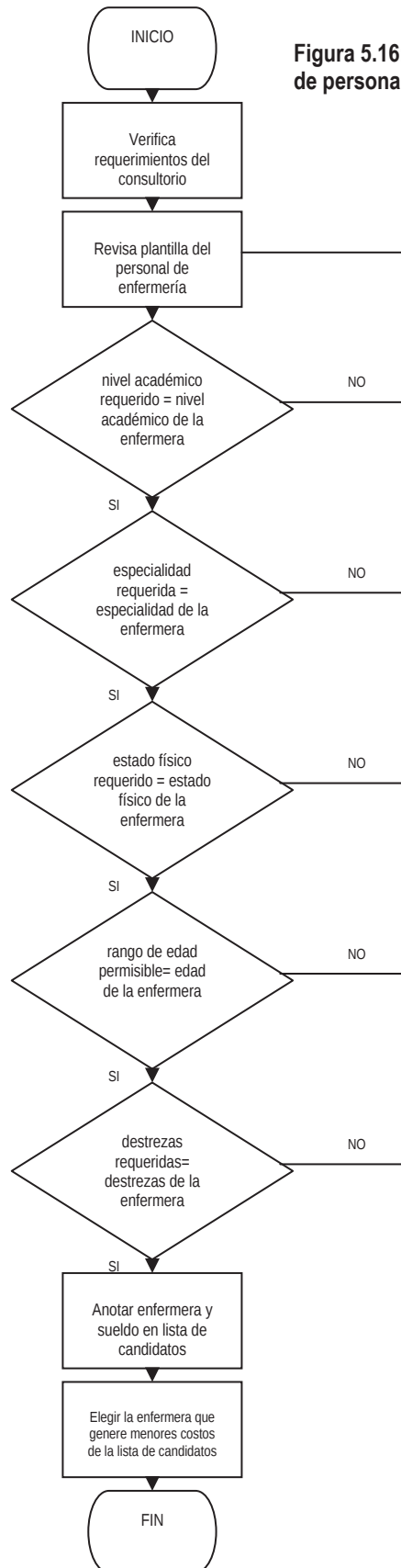


Figura 5.16: Diagrama del proceso de programación de personal

Fuente: elaboración propia

Costeo de los procesos

Como se mencionó anteriormente, la determinación de los costos de los servicios de salud es un asunto complejo y de difícil determinación, por lo que para cuantificarlos se cuenta con guías y catálogos en cada centro de salud. Generalmente, se utiliza el costeo por unidad de producción o proceso (consulta, días-paciente, cirugía, etc.). En el anexo 1 se ilustran los procedimientos de cálculo de costos usados por el IMSS y la SS.

Formalización y operación del modelo del Problema: Programación y rotación el personal de enfermería

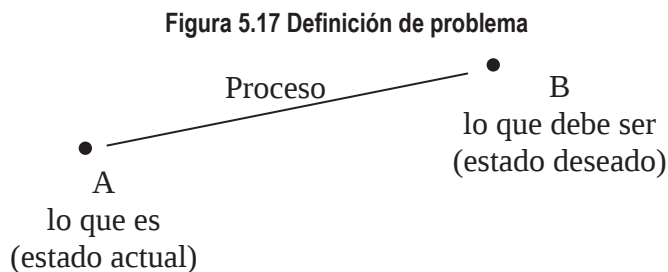
La información necesaria para definir el problema en este apartado, se obtuvo mediante diversos documentos proporcionados por la Jefa de Enfermeras del Hospital General Dr. Miguel Silva, Licenciada en Enfermería Marbella Damián Gómez, quien amablemente prestó el manual de procedimientos y organización del servicio de consulta externa, el diagnóstico situacional del departamento de enfermería, la plantilla de personal de enfermería 2007, así como el tabulador de salarios para estos recursos humanos, de los cuales se pudo desprender mucha información, tanto del servicio de consulta externa, como del departamento de enfermería. Por otra parte, se consultaron guías del seguro social y la secretaría de salud para verificar la estructuración de costos de los servicios y los procedimientos analizados.

El problema de rotación del personal de enfermería es tratado como un problema de tiempo polinomial no determinístico duro (teoría de la complejidad computacional)⁸¹, ya que el tiempo que requieren para su solución crece exponencialmente con el número de elementos o variables involucradas, asimismo, el número de posibles combinaciones entre el personal y los sitios de trabajo a las que tendrían que ser asignados puede ser obtenido o calculado a partir de la teoría de las combinaciones de la estadística. Debido a lo anterior, este problema es resuelto utilizando la técnica heurística del AG. Con la finalidad de de ilustrar de qué manera se ha llevado a cabo la construcción de la función objetivo, a continuación, se presenta la información utilizada para ello, la cual procedente de las diferentes fuentes citadas.

Existen diferentes acepciones de lo que es un problema, para el caso de este trabajo se dirá que es el proceso que se desea optimizar, o dicho en otras palabras la diferencia entre lo que es y lo que debería

81

ser⁸² o la diferencia entre el estado actual y el objetivo del sistema o estado deseado en éste, como se ilustra en la figura 5.17.



Fuente: Arreola R. J. S. Arreola R. A. Programación Lineal, una introducción a la toma de decisiones cuantitativa, 2003

La solución de un problema (proceso que se desea optimizar) es el conjunto de actividades que deben de realizarse para llevar al sistema de su estado actual al estado deseado. Además, esta solución será efectiva si consigue suprimir la diferencia entre el estado actual y el objetivo del sistema y será eficiente si abate el problema con un mínimo de recursos, por lo que puede presentarse alguna de las siguientes combinaciones⁸³:

Figura 5.18 Posibles soluciones de un problema en términos de eficacia

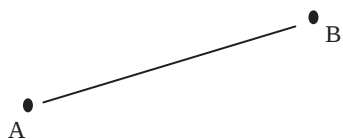


Figura 5.18 a) Solución efectiva y eficiente



Figura 5.18 b) Solución efectiva pero ineficiente

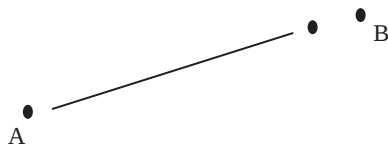


Figura 5.18 c) Solución eficiente pero no efectiva

Fuente: Íbidem

⁸² Arreola R. J. S. Arreola R. A. Programación Lineal, una introducción a la toma de decisiones cuantitativa. Thomson. 2ª. Ed. 2003. p. 4

⁸³ Íbidem

Como puede observarse la figura 5.18 a), ilustra a la mejor solución, es decir, aquella que en términos de efectividad y eficiencia es la mejor; mientras que la figura 5.18 b), muestra una solución, que aunque es efectiva, no es eficiente y por último, la figura 5.18 c) ilustra una solución eficiente, pero no efectiva.

Frecuentemente los problemas tienen más de una solución y a la elección de la mejor alternativa se le denomina toma de decisiones, ésta será más compleja a medida que el número de posibles soluciones sea mayor. Por otra parte, todos los problemas presentan obstáculos o limitantes que deben considerarse y librarse para alcanzar el objetivo de un sistema, a éstos se les conoce como restricciones. Cuando al resolver un problema se consideran y cumplen las restricciones del mismo, su solución es factible, además pueden presentarse los casos que ilustran las siguientes figuras.

Figura 5.19 Posibles soluciones de un problema con restricciones

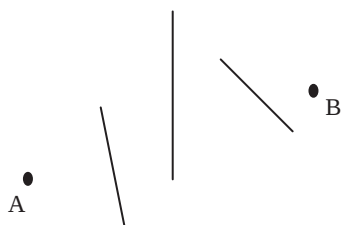


Figura 5.19 a) Restricciones

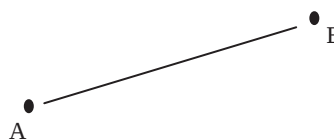


Figura 5.19 b) solución no factible

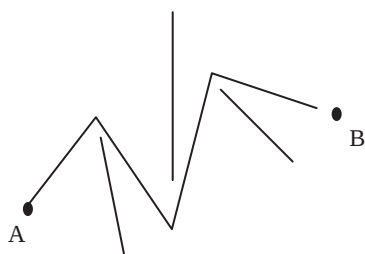


Figura 5.19 c) Solución factible, pero mejorable

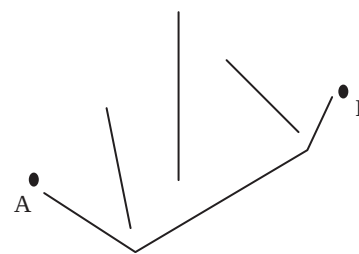


Figura 5.19 d) Solución óptima

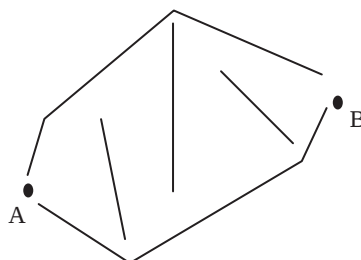


Figura 5.19 e) Dos soluciones óptimas para el problema

Fuente: Íbidem

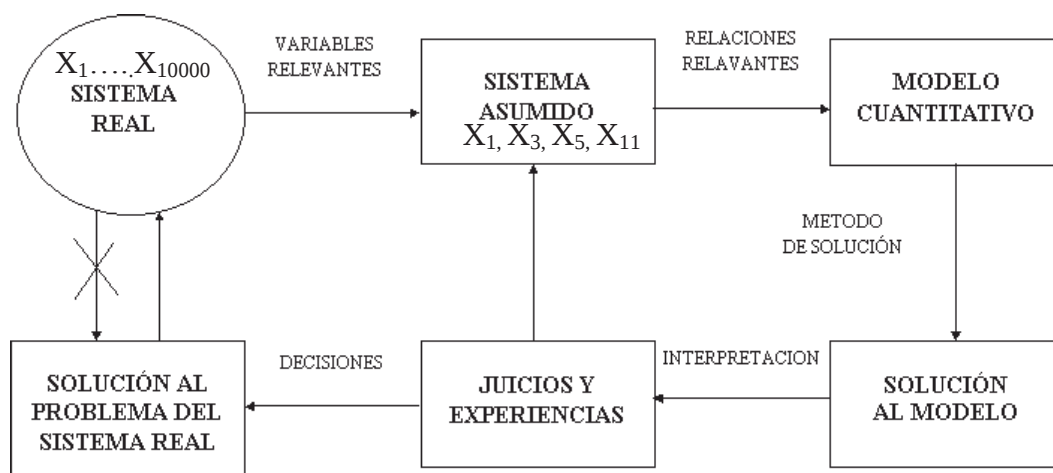
Como puede observarse, para el problema de la figura 5.19 a), existen tres restricciones que deben ser libradas, por lo que la solución de la figura 5.19 b) no es factible, en cambio, las figuras 5.19 c) y d), representan soluciones factibles; la primera, mejorable y la última, factible e inmejorable, es decir, lo que se denomina solución óptima. Además, como muestra la figura 5.19 e), un problema puede tener más de una solución óptima.

De lo anterior, puede verse que la toma de decisiones es un ejercicio complejo, más si éste involucra un gran número de variables, como es el caso de la programación y rotación de personal de un servicio en una institución de salud, donde existen cientos de individuos y se requiere un perfil específico para realizar ciertas actividades, por lo que se hace uso de las herramientas que presta la investigación de operaciones para desarrollar el modelo del problema, de la siguiente manera:

1. Definir el sistema real donde se presenta el problema y en el cual interactúan un gran número de variables.
2. Seleccionar las variables que regulan la conducta o el estado del sistema.
3. Construir un modelo cuantitativo del sistema, identificando y simplificando las relaciones entre las variables utilizando funciones matemáticas.
4. Solucionar el modelo cuantitativo a través de las técnicas de la investigación de operaciones.
5. Imprimir el mayor apego a la realidad a la solución teórica del problema, ya sea considerando factores cualitativos, la experiencia y juicio de quienes toman las decisiones o ambos.
6. Implantar la solución al problema real.

O de la manera esquemática que se presenta en la figura 5.20

Figura 5.20: Enfoque de la Investigación de Operaciones



Fuente: Instituto Tecnológico de Sonora

<http://www.itson.mx/dii/elagarda/apagina2001/PM/image001.gif>,
consulta 23/07/2007

Como se mencionó anteriormente, en el enfoque de la investigación de operaciones se emplean modelos cuantitativos para la toma de decisiones. Existen modelos que han sido desarrollados para solucionar problemas específicos como son los modelos de inventario, líneas de espera, reemplazo, mantenimiento, asignación de recursos y competencia. Cada uno de éstos tiene diferentes características y es aplicable a diferentes casos, es decir, debe analizarse cuál de los modelos se ajusta al problema a resolver.

Para este trabajo en particular, la optimización del proceso consiste en asignar óptimamente al personal de enfermería en los diferentes consultorios del servicio de consulta externa, es decir, asignar los recursos a las actividades, por lo que se utilizará el modelo cuantitativo de asignación de recursos, el cual puede modelarse a través de la técnica cuantitativa denominada programación lineal, cuya formulación matemática general es la siguiente:

Optimizar:

$$X_0 = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n \quad (5.1)$$

Sujeta a:

$$\left. \begin{array}{l} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n (\leq, =, \geq) b_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n (\leq, =, \geq) b_2 \\ \cdot \qquad \qquad \qquad \cdot \\ \cdot \qquad \qquad \qquad \cdot \\ \cdot \qquad \qquad \qquad \cdot \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n (\leq, =, \geq) b_m \end{array} \right\} \quad (5.2)$$

$$X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0 \quad (5.3)$$

Donde

X_0 = función objetivo, o función a ser maximizada o minimizada

X_j = variable de decisión (actividad) $j= 1, 2, \dots, n$

- C_j = coeficiente de la variable X_j en la función objetivo o coeficiente objetivo de X_j
- a_{ij} = consumo del recurso i por unidad de actividad j o coeficiente tecnológico de X_j en la restricción i
- b_i = constante del lado derecho, recurso disponible, en la restricción i o coeficiente recurso

Es muy importante puntualizar que en este caso la técnica de programación lineal es aplicable para solucionar u optimizar el proceso, debido a que como su nombre lo indica, las variables que intervienen en el modelo son de tipo lineal, no existen variables de orden mayor a uno, ni que impliquen la introducción de términos que varíen en el tiempo en la función objetivo o las restricciones, como se evidenciará más adelante en este apartado.

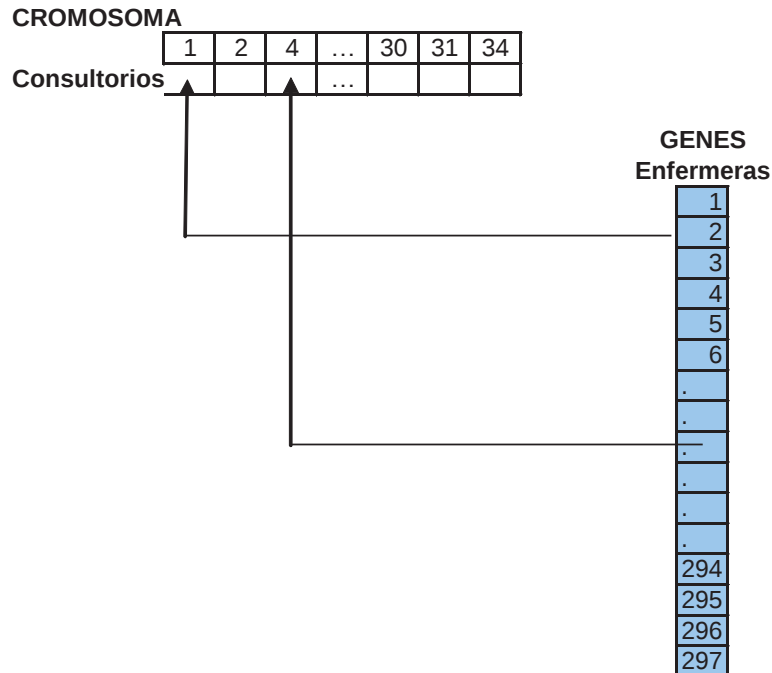
De esta manera, el problema se define de la siguiente forma:

- ✓ La tarea consiste en dotar de personal de enfermería al servicio de consulta externa de manera eficiente, esto es, en términos económicos, de satisfacción laboral y pertinencia del perfil del personal para las tareas requeridas.
- ✓ Se requiere ubicar 49 individuos del personal de enfermería de un universo disponible de 297.
- ✓ Cada individuo, tiene diferente categoría salarial, en total existen 8 categorías, grado académico y habilidades que pueden o no ser requeridas en cualquiera de los 34 consultorios de consulta externa.
- ✓ Por otra parte, cada consultorio trata diferentes especialidades que requieren un perfil específico del personal de enfermería en cuanto a sus habilidades y conocimientos. Tal es el caso de las especialidades de gastroenterología (endoscopia), urgencias obstétricas, oftalmología, entre otros.
- ✓ El costo de asignar a la enfermera i en el consultorio j es su salario tabular mensual.

- ✓ Al construir la programación del personal de enfermería, se considerarán las restricciones que impone la experiencia o criterios empleados por la jefa de enfermeras del Hospital Civil.

En la figura 5.21 se muestra el problema esquematizado

Figura 5.21 Esquema del problema de programación de personal usando el AG



Fuente: elaboración propia

Por lo que el problema puede ser formulado como un problema de programación lineal, cuya función objetivo será minimizar el costo total del rol de enfermería para la consulta externa, así como maximizar la pertinencia o idoneidad del personal asignado con los requerimientos de cada consultorio, es decir, el problema queda representado por la siguiente formulación de programación lineal

Optimizar:

$$f(enf) = \min(C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n) \cap \max(P_1x_1 + P_2x_2 + \dots + P_mx_m) \quad (5.4)$$

O bien

$$f(enf) = \sum_{i=1}^n C_i x_i \rightarrow \min! \cap \sum_{i=1, j=1}^{n,m} P_j x_i \rightarrow \max! \quad (5.5)$$

Sujeta a:

$$x_i > 0 \quad (5.6)$$

$$x_i \neq x_j$$

Donde

$f(enf)$ = Es la función objetivo

X_j = representa a la enfermera jésima; $j = 1, 2, \dots, n$

C_j = representa el salario tabular mensual de la enfermera X_j

n = número total de enfermeras requeridas en el servicio de consulta externa

P_j = Coeficiente que representa el grado de pertinencia de la enfermera X_j en el consultorio j

m = número total de consultorios del servicio de consulta externa

Por otra parte, la función se utiliza para considerar parámetros referentes a los requisitos de formación profesional, especialidades, habilidades, etc. que deben ser cubiertas en los consultorios, como son: el grado de estudio, especialidades, limitaciones físicas, destrezas manuales y edad. Todos estos son evaluados de acuerdo a las características de las enfermeras que conforman la plantilla de enfermería del hospital y pueden ser representados en la ecuación 5.7 y constituyen las restricciones:

$$f(p) = f(k_1, k_2, k_3) \quad (5.7)$$

Donde:

K_1 es el grado de estudios

K_2 las especialidades tomadas

K_3 las habilidades manuales

De acuerdo con la experiencia de la jefa de enfermeras del HGMS, las restricciones, en orden de importancia, serían las siguientes:

- 1) El grado de estudio, por lo tanto a esta variable se le asignará una ponderación muy alta (en una escala de 0 a 50)
- 2) Las especialidades a las que se les asignará una ponderación alta (en una escala de 0 a 25)
- 3) A la variable destrezas manuales se le asignará una ponderación baja (en una escala de 0 a 10).

Con la finalidad de ilustrar la manera en que se soluciona el problema de optimización del proceso de programación y rotación del personal de enfermería, se utilizan los siguientes ejemplos, en donde se muestra paso a paso cómo el AG va encontrando varias soluciones factibles cuando las restricciones tienen que ver con los costos, en el primer ejemplo, y con los costos y el perfil deseable del personal en cada consultorio.

En este ejemplo, en el cual se tienen 6 consultorios los cuales tienen que ser dotados de una enfermera cada uno, en donde cada enfermera tiene un costos de preferencia relacionado el cual depende de su salario, aptitudes, limitaciones, nivel de preparación, etc. La plantilla de personal disponible para asignación es de 10 individuos, como se muestra en la tabla 5.6:

Tabla 5.6: Plantilla de personal disponible para su asignación en consultorios y costos relacionados con cada uno de los individuos

Enfermera	Costo de preferencia
1	18,000
2	11,800
3	6,000
4	18,000
5	10,965
6	19,500
7	5,950
8	4,360
9	4,670
10	3,560

Fuente: elaboración propia

Suponiendo que los seis consultorios requieren los mismos perfiles de personal y que cualquiera de las 10 enfermeras lo cubren o rebasan, puede visualizarse a simple vista, para este caso, que los individuos 3,5,7,8,9,10 sería a quienes resultaría más conveniente colocar en los consultorios, en términos de costo y perfil (menor costo total \$35,505.00). Sin embargo, elegir la “mejor combinación” de personal que minimice los costos no resulta tan sencillo si se tiene una plantilla de personal de las dimensiones de una Institución de salud pública, por ello utilizando el AG se llegaría a la solución óptima de la siguiente manera:

1. Se define el número de generaciones en base al valor del resultado de la evaluación de la función objetivo, cuando en cinco generaciones, su valor no cambie querrá decir que se ha llegado a la solución óptima o la mejor viable.
2. Se dimensiona el cromosoma igual al número de consultorios, es decir, la máquina, departamento o ente que tendrá que ser cubierto.
3. Se genera una población de manera aleatoria, cuyo número de individuos o cromosomas son definidos de acuerdo a la naturaleza del problema y se llena cada cromosoma con sus genes, que en este caso cada gen representa una enfermera.
4. Una vez que la población de cromosomas ha sido generada, la función de aptitud o aptitud del cromosoma es calculada en base a los valores de sus genes o alelos, en este caso cada gen representa el costo de preferencia de una enfermera elegida inicialmente al azar (generación 1), lo que esquemáticamente, podría representarse de la siguiente manera:

Figura 5.22. Primera generación de individuos producida por el AG

Gen 1 del cromosoma 1

Cromosoma 1 o individuo 1

Población de 10 cromosomas o individuos

	1	2	3	4	5	6	Aptitud del cromosoma (valor de la función objetivo)
individuo1	8	6	2	7	3	1	65,610
individuo2	10	4	3	9	5	2	48,998
individuo3	8	9	7	2	1	3	50,780
individuo4	8	1	7	6	2	4	77,610
individuo5	5	6	8	4	3	7	64,775
individuo6	8	4	1	3	6	2	77,660
individuo7	10	1	2	3	9	4	76,860
individuo8	4	1	6	3	7	5	78,415
individuo9	5	4	9	8	3	1	61,995
individuo10	10	6	2	5	7	1	69,775
individuo11	9	7	5	6	1	8	63,445
individuo12	6	1	4	3	5	8	76,825
individuo13	10	6	8	9	4	7	56,040
individuo14	8	6	7	5	3	9	51,445
individuo15	7	2	6	9	5	4	70,885
individuo16	5	2	3	4	9	1	69,435
individuo17	5	3	1	2	7	4	70,715
individuo18	4	8	1	2	3	5	69,125
individuo19	7	3	1	5	2	4	70,715
individuo20	8	4	2	7	6	9	64,280

Fuente: elaboración propia

- Los cromosomas más aptos serán seleccionados para participar en la cruce y heredar sus características a las siguientes generaciones, en este caso, por ser un problema de minimización, se elegirán aquellos cuyos valores de la función objetivo sean menores, como se ilustra en la figura 5.23.

Figura 5.23 Ordenamiento de individuos de acuerdo a su aptitud

individuo2	10	4	3	9	5	2	48998
individuo3	8	9	7	2	1	3	50780
individuo14	8	6	7	5	3	9	51445
individuo13	10	6	8	9	4	7	56040
individuo9	5	4	9	8	3	1	61995
individuo11	9	7	5	6	1	8	63445
individuo20	8	4	2	7	6	9	64280
individuo5	5	6	8	4	3	7	64775
individuo1	8	6	2	7	3	1	65610
individuo18	4	8	1	2	3	5	69125
individuo16	5	2	3	4	9	1	69435
individuo10	10	6	2	5	7	1	69775
individuo17	5	3	1	2	7	4	70715
individuo19	7	3	1	5	2	4	70715
individuo15	7	2	6	9	5	4	70885
individuo12	6	1	4	3	5	8	76825
individuo7	10	1	2	3	9	4	76860
individuo4	8	1	7	6	2	4	77610
individuo6	8	4	1	3	6	2	77660
individuo8	4	1	6	3	7	5	78415

Fuente: elaboración propia

- Los mejores individuos son cruzados, hasta crear una nueva generación, que además de ser evaluada en términos de su aptitud, deberá conducir a las generaciones posteriores para encontrar la solución óptima del problema de minimización en conjunto con el operador de mutación, cuya función es asegurar que el programa no tienda a converger en un mínimo local o falsa solución óptima, es decir, que todo el espacio de solución de la función sea explorado y encontrar la solución óptima, esto se logra cambiando uno de los valores o alelos de cualquier locus o posición del cromosoma como se ilustra en la figura 5.24

Figura 5.24 Segunda generación de individuos producida por el AG

Cruza de los más aptos	cromosomas resultantes						Aptitud del cromosoma (valor de la función objetivo)	Individuos 2a. Generación
cruza 2 y 3, hijo 1	10	4	3	8	9	7	42,540	individuo1
cruza 2 y 3, hijo 2	2	1	3	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo2
cruza 14 y 13, hijo1	8	6	7	10	6	8	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo3
cruza 14 y 13, hijo2	9	4	7	5	3	10	49,145	individuo4
cruza 9 y 11, hijo1	5	4	9	9	7	5	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo5
cruza 9 y 11, hijo2	6	1	8	8	3	1	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo6
cruza 20 y 5, hijo 1	8	4	2	5	6	8	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo7
cruza 20 y 5, hijo2	4	3	7	7	6	9	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo8
cruza 1 y 18, hijo1	8	6	2	4	8	1	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo9
cruza 1 y 18, hijo2	2	3	5	7	3	1	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo10
cruza 2 y 14, hijo1	10	4	3	8	6	7	57,370	individuo11
cruza 2 y 14, hijo2	5	3	9	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo12
cruza 2 y 13, hijo1	10	4	3	10	6	8	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo13
cruza 2 y 13, hijo2	9	4	7	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo14
cruza 3 y 14, hijo1	8	9	7	8	6	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo15
cruza 3 y 14, hijo2	5	3	9	2	1	3	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo16
cruza 2 y 9, hijo1	10	4	3	5	4	9	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo17
cruza 2 y 9, hijo2	8	3	1	9	5	2	55,795	individuo18
cruza 2 y 5, hijo1	10	4	3	5	6	8	62,385	individuo19
cruza 2 y 5, hijo2	4	3	7	9	5	2	57,385	individuo20

Mutación en el sexto locus o posición seis del cromosoma del individuo 4

Fuente: elaboración propia

- En la figura 5.24 puede observarse que ninguna de las soluciones obtenidas en la segunda generación es la óptima (menor costo total \$35,505.00), por lo que deberán seguirse creando nuevas generaciones, tantas como sean necesarias para encontrar la solución óptima. En este caso el criterio de parada será que al menos cinco generaciones hacia atrás presenten el mismo resultado (óptimo).
- Se crea la 3ª generación con los individuos más aptos de la generación anterior y se aplica el operador de mutación en el hijo 2 de la pareja 1, 18. Después de cinco generaciones, el mejor resultado no varía, por lo que el resultado óptimo ha sido alcanzado. Como se ilustra en la figura 5.25

Figura 5.25 Tercera generación de individuos producida por el AG, en la cual se obtiene la solución óptima del problema

Cruza de los más aptos	cromosomas resultantes						Aptitud del cromosoma (valor de la función objetivo)	Individuos 3a. Generación
cruza 1 y 4, hijo1	10	4	3	9	4	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo1
cruza 1 y 4, hijo2	8	9	7	5	3	10	35,505	individuo2
cruza 1 y 11, hijo1	10	4	3	10	4	3	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo3
cruza 1 y 11, hijo2	8	6	7	8	9	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo4
cruza1 y 18, hijo1	10	4	3	8	3	1	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo5
cruza 1 y 18, hijo2	9	5	2	8	10	7	41,305	individuo6
cruza 1 y 19, hijo1	10	4	3	10	4	3	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo7
cruza 1 y 19, hijo2	5	6	8	8	9	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo8
cruza 1 y 20, hijo1	10	4	3	4	3	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo9
cruza 1 y 20, hijo2	9	5	2	8	9	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo10
cruza 11 y 18, hijo1	10	4	3	8	3	1	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo11
cruza 11 y 18, hijo2	9	5	2	8	6	7	57,245	individuo12
cruza 11 y 19, hijo1	10	4	3	10	4	3	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo13
cruza 11 y 19, hijo2	5	6	8	8	6	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo14
cruza11 y 20, hijo1	10	4	3	4	3	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo15
cruza11 y 20, hijo2	9	5	2	8	6	7	57,245	individuo16
cruza 18 y19, hijo1	8	3	1	10	4	3	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo17
cruza 18 y 19, hijo2	5	6	8	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo18
cruza18 y 20, hijo1	8	3	1	4	3	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo19
cruza18 y 20, hijo2	9	5	2	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo20

SOLUCIÓN ÓPTIMA

Enfermeras con mejores atributos 8, 9, 7, 5, 3, 10
Al menor costo \$ 35,505.00

Mutación en el quinto locus o posición cinco del cromosoma del individuo 6

Fuente: elaboración propia

Con respecto a las habilidades requeridas en los consultorios, en el siguiente ejemplo, se solucionará el problema anterior, pero considerando, además del costo, los requerimientos de cada consultorio en cuanto al perfil requerido, es decir, el grado académico, la especialidad y destrezas del profesional requeridos. Existen seis consultorios los cuales tienen que ser dotados de un profesional cada uno, de acuerdo con los requerimientos de la especialidad que se atiende. La tabla 5.7 muestra las necesidades que deben ser cubiertas por el personal que sea asignado. Cada enfermera tiene un costo de preferencia relacionado el cual depende de su salario, nivel de preparación y especialidad con la que cuenta, y la plantilla de personal disponible para asignación es de 10 individuos, como se muestra en la tabla 5.8:

Tabla 5.7: Requerimientos de personal de acuerdo al consultorio.

Consultorio	Preparación	Especialidad
1	General	Quirúrgica
2	Licenciada	Obstetricia
3	Licenciada	Quirúrgica
4	General	Obstetricia
5	General	Pediátrica
6	General	Obstétrica

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.8: Plantilla de personal disponible para su asignación en consultorios, costos relacionados, formación profesional y especialidad de cada individuo

Enfermera	Costo	Profesión	Especialidades
Enfermera1	18,000	General	Obstetricia
Enfermera2	11,800	Licenciada	Quirúrgica
Enfermera3	6,000	General	Quirúrgica
Enfermera4	18,000	Licenciada	Quirúrgica
Enfermera5	10,965	Licenciada	Obstetricia
Enfermera6	19,500	General	Quirúrgica
Enfermera7	5,950	General	Obstetricia
Enfermera8	4,360	General	Obstetricia
Enfermera9	4,670	General	Quirúrgica
Enfermera10	3,560	General	Pediátrica

Fuente: elaboración propia

Los seis consultorios deben ser cubiertos por personal que cumpla los requerimientos de las especialidades. De la tabla 5.8 puede visualizarse a simple vista, para este caso, que los individuos 9,5,2,8,10,7 sería quienes resultaría más conveniente colocar en los consultorios en este orden, en términos de costo y perfil (menor costo total \$41,305.00 y cumpliendo todas las necesidades de los consultorios). Sin embargo, elegir la “mejor combinación” de personal que minimice los costos y cumpla con los requerimientos de los consultorios no resulta tan sencillo si se tiene una plantilla de personal de las dimensiones de una Institución de salud pública, por ello utilizando el AG se llegaría a la solución óptima de la siguiente manera:

1. Como criterio de parada del AG, se define el número de generaciones en base al valor del resultado de la evaluación de la función objetivo, es decir, cuando el valor de ésta no cambie en cinco generaciones se habrá llegado a la solución óptima o las mejores viables.
2. Se dimensiona el cromosoma de acuerdo con el número de consultorios, máquinas, departamentos o ente que tendrá que ser cubierto.
3. Se genera una población de manera aleatoria, cuyo número de individuos o cromosomas son definidos de acuerdo a la naturaleza del problema y se llena cada cromosoma con sus genes, en este caso cada gen representa una enfermera.

- Una vez que la población de cromosomas ha sido generada, la función de aptitud o aptitud del cromosoma es calculada en base a los valores de sus genes o alelos, en este caso cada gen representa el costo de preferencia de una enfermera elegida inicialmente al azar (generación 1), lo que esquemáticamente, podría representarse de la siguiente manera:

Figura 5.26. Primera generación de individuos producida por el AG

Gen 1 del cromosoma 1

Cromosoma 1 o individuo 1

Población de 20 cromosomas o individuos

	1	2	3	4	5	6	Aptitud del cromosoma (valor de la función objetivo)
individuo1	8	6	2	7	3	1	65,610
individuo2	10	4	3	9	5	2	48,998
individuo3	8	9	7	2	1	3	50,780
individuo4	8	1	7	6	2	4	77,610
individuo5	5	6	8	4	3	7	64,775
individuo6	8	4	1	3	6	2	77,660
individuo7	10	1	2	3	9	4	76,860
individuo8	4	1	6	3	7	5	78,415
individuo9	5	4	9	8	3	1	61,995
individuo10	10	6	2	5	7	1	69,775
individuo11	9	7	5	6	1	8	63,445
individuo12	6	1	4	3	5	8	76,825
individuo13	10	6	8	9	4	7	56,040
individuo14	8	6	7	5	3	9	51,445
individuo15	7	2	6	9	5	4	70,885
individuo16	5	2	3	4	9	1	69,435
individuo17	5	3	1	2	7	4	70,715
individuo18	4	8	1	2	3	5	69,125
individuo19	7	3	1	5	2	4	70,715
individuo20	8	4	2	7	6	9	64,280

Fuente: elaboración propia

- Los cromosomas más aptos serán seleccionados para participar en la cruce y heredar sus características a las siguientes generaciones, en este caso, por ser un problema de minimización, se elegirán aquellos cuyos valores de la función objetivo sean menores, como se ilustra en la figura 5.27.

Figura 5.27 Ordenamiento de individuos de acuerdo a su aptitud

individuo2	10	4	3	9	5	2	48998
individuo3	8	9	7	2	1	3	50780
individuo14	8	6	7	5	3	9	51445
individuo13	10	6	8	9	4	7	56040
individuo9	5	4	9	8	3	1	61995
individuo11	9	7	5	6	1	8	63445
individuo20	8	4	2	7	6	9	64280
individuo5	5	6	8	4	3	7	64775
individuo1	8	6	2	7	3	1	65610
individuo18	4	8	1	2	3	5	69125
individuo16	5	2	3	4	9	1	69435
individuo10	10	6	2	5	7	1	69775
individuo17	5	3	1	2	7	4	70715
individuo19	7	3	1	5	2	4	70715
individuo15	7	2	6	9	5	4	70885
individuo12	6	1	4	3	5	8	76825
individuo7	10	1	2	3	9	4	76860
individuo4	8	1	7	6	2	4	77610
individuo6	8	4	1	3	6	2	77660
individuo8	4	1	6	3	7	5	78415

Fuente: elaboración propia

- Los mejores individuos son cruzados, hasta crear una nueva generación, que además de ser evaluada en términos de su aptitud, deberá conducir a las generaciones posteriores para encontrar la solución óptima del problema de minimización en conjunto con el operador de mutación, cuya función es asegurar que el programa no tienda a converger en un mínimo local o falsa solución óptima, es decir, que todo el espacio de solución de la función sea explorado y encontrar la solución óptima, esto se logra cambiando uno de los valores o alelos de cualquier locus o posición del cromosoma como se ilustra en la figura 5.28

Figura 5.28 Segunda generación de individuos producida por el AG

Cruza de los más aptos	cromosomas resultantes						Aptitud del cromosoma (valor de la función objetivo)	Individuos 2a. Generación
	10	4	3	8	9	7		
cruza 2 y 3, hijo 1	10	4	3	8	9	7	42,540	individuo1
cruza 2 y 3, hijo 2	2	1	3	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo2
cruza 14 y 13, hijo1	8	6	7	10	6	8	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo3
cruza 14 y 13, hijo2	9	4	7	5	3	10	49,145	individuo4
cruza 9 y 11, hijo1	5	4	9	9	7	5	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo5
cruza 9 y 11, hijo2	6	1	8	8	3	1	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo6
cruza 20 y 5, hijo 1	8	4	2	5	6	8	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo7
cruza 20 y 5, hijo2	4	3	7	7	6	9	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo8
cruza 1 y 18, hijo1	8	6	2	4	8	1	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo9
cruza 1 y 18, hijo2	2	3	5	7	3	1	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo10
cruza 2 y 14, hijo1	10	4	3	8	6	7	57,370	individuo11
cruza 2 y 14, hijo2	5	3	9	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo12
cruza 2 y 13, hijo1	10	4	3	10	6	8	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo13
cruza 2 y 13, hijo2	9	4	7	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo14
cruza 3 y 14, hijo1	8	9	7	8	6	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo15
cruza 3 y 14, hijo2	5	3	9	2	1	3	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo16
cruza 2 y 9, hijo1	10	4	3	5	4	9	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo17
cruza 2 y 9, hijo2	8	3	1	9	5	2	55,795	individuo18
cruza 2 y 5, hijo1	10	4	3	5	6	8	62,385	individuo19
cruza 2 y 5, hijo2	4	3	7	9	5	2	57,385	individuo20

Fuente: elaboración propia

- En la figura 5.28 puede observarse que ninguna de las soluciones obtenidas en la segunda generación es la óptima (menor costo total \$41,305.00), además de que ninguna satisface los requerimientos de todos los consultorios, por lo que deberán seguirse creando nuevas generaciones, tantas como sean necesarias para encontrar la solución óptima. En este caso el criterio de parada será que al menos cinco generaciones hacia atrás presenten el mismo resultado (óptimo).
- Se crea la 3ª generación con los individuos más aptos de la generación anterior y se aplica el operador de mutación en el hijo 2 de la pareja 1, 18. En esta generación se logra la solución óptima, es decir, aquella que cumple con las necesidades de los consultorios a un menor costo. Sin embargo, si no se está en posibilidad de ubicar a las enfermeras 9, 5, 2, 8, 10 y 7 en los consultorios, 1 al 6 respectivamente, habría posibilidad de valorar si como solución alterna se utilizaría a los individuos o cromosomas 13 y 16, que únicamente no cumplen con los requerimientos del consultorio 5.

Figura 5.29 Tercera generación de individuos producida por el AG, en la cual se obtiene la solución óptima del problema

Cruza de los más aptos	cromosomas resultantes						Aptitud del cromosoma (valor de la función objetivo)	Individuos 3a. Generación
cruza 1 y 4, hijo1	10	4	3	9	4	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo1
cruza 1 y 4, hijo2	8	9	7	5	3	10	35,505	individuo2
cruza 1 y 11, hijo1	10	4	3	10	4	3	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo3
cruza 1 y 11, hijo2	8	6	7	8	9	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo4
cruza1 y 18, hijo1	10	4	3	8	3	1	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo5
cruza 1 y 18, hijo2	9	5	2	8	10	7	41,305	individuo6
cruza 1 y 19, hijo1	10	4	3	10	4	3	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo7
cruza 1 y 19, hijo2	5	6	8	8	9	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo8
cruza 1 y 20, hijo1	10	4	3	4	3	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo9
cruza 1 y 20, hijo2	9	5	2	8	9	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo10
cruza 11 y 18, hijo1	10	4	3	8	3	1	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo11
cruza 11 y 18, hijo2	9	5	2	8	6	7	57,245	individuo12
cruza 11 y 19, hijo1	10	4	3	10	4	3	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo13
cruza 11 y 19, hijo2	5	6	8	8	6	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo14
cruza11 y 20, hijo1	10	4	3	4	3	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo15
cruza11 y 20, hijo2	9	5	2	8	6	7	57,245	individuo16
cruza 18 y19, hijo1	8	3	1	10	4	3	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo17
cruza 18 y 19, hijo2	5	6	8	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo18
cruza18 y 20, hijo1	8	3	1	4	3	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo19
cruza18 y 20, hijo2	9	5	2	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo20

No resuelven las necesidades propias de ningún consultorio

SOLUCIÓN ÓPTIMA
Enfermeras 9,5,2,8,10,7
menor costo \$ 41,305.00

Mutación en el quinto locus o posición cinco del cromosoma del individuo 6

Fuente: elaboración propia

9. Sólo para ilustrar cómo funcionaría el criterio de parada del AG, en la figura 5.30, se ilustra la población de una 4ª generación con los individuos más aptos de la generación anterior y aplicando el operador de mutación en el hijo 2 de la pareja 6, 2 y en el hijo 1 de la pareja 6, 4. Como puede observarse, el mejor resultado no varía, por lo que el resultado óptimo ha sido alcanzado.

Figura 5.30 Cuarta generación de individuos producida por el AG.

Cruza de los más aptos	cromosomas resultantes						Aptitud del cromosoma (valor de la función objetivo)	Individuos 4a. Generación
cruza 6 y 2 hijo1	9	5	2	8	9	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo1
cruza 6 y 2 hijo2	8	10	7	5	3	2	42,635	individuo2
cruza 6 y12 hijo1	9	5	2	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo3
cruza 6 y12 hijo2	8	6	7	8	10	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo4
cruza 6 y 1 hijo1	9	5	2	10	4	3	54,995	individuo5
cruza 6 y 1 hijo2	9	4	7	8	10	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo6
cruza 6 y 3 hijo1	9	5	2	10	4	3	54,995	individuo7
cruza 6 y 3 hijo2	10	4	3	8	10	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo8
cruza 6 y4 hijo1	9	5	2	8	10	7	41,305	individuo9
cruza 6 y4 hijo2	8	9	7	8	10	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo10
cruza 6 y 5 hijo1	9	5	2	10	4	3	54,995	individuo11
cruza 6 y 5 hijo2	8	3	1	8	10	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo12
cruza 6 y 7 hijo1	9	5	2	10	4	3	54,995	individuo13
cruza 6 y 7 hijo2	10	4	3	8	10	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo14
cruza 6 y 8 hijo1	9	5	2	5	6	8	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo15
cruza 6 y 8 hijo2	8	9	7	8	10	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo16
cruza 6 y 9 hijo1	9	5	2	10	4	3	54,995	individuo17
cruza 6 y 9 hijo2	4	3	7	8	10	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo18
cruza 6 y 10 hijo1	9	5	2	9	5	2	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo19
cruza 6 y 10 hijo2	8	9	7	8	10	7	Solución no factible, se repiten alelos (enfermera)	individuo20

No resuelven las necesidades propias de ningún consultorio

SOLUCIÓN ÓPTIMA
Enfermeras 9,5,2,8,10,7
menor costo \$ 41,305.00

Fuente: elaboración propia

En este capítulo se ha explicado cómo funciona el AG, como puede observarse, de los ejemplos anteriores, la aplicación del AG permite la búsqueda de diferentes soluciones simultáneas en cada generación, de las cuales pueden resultar una o más soluciones factibles o sub-óptimas para ser consideradas en la toma de decisiones, de acuerdo con las condiciones prevalecientes en el entorno.

Del ejemplo 1 puede observarse que el AG encuentra la solución óptima en la tercera generación de individuos, en este caso, en términos de costos, lo que resulta en la combinación de ciertos individuos asignados a ciertos consultorios. Sin embargo, de no ser posible asignar a los individuos de la solución óptima debido a diversas razones, puede recurrirse a alguna de las demás soluciones sub-óptimas, incluso definiendo un margen de operación en relación a los costos (por ejemplo de 35,500 a 60,000), considerando todas las posibles soluciones o combinaciones de individuos que cumplan con este criterio de toma de decisiones. La opción que ha de utilizarse dependerá enteramente de quien toma las decisiones y de los factores cualitativos que influyan en estas, ya sean cuestiones sindicales o de aptitudes. Por otra parte, en el ejemplo 2, se consideran otros aspectos además del costo, la idoneidad del perfil del personal, conformada por el grado escolar y la especialidad del individuo. Igualmente que en el problema 1, la solución óptima se alcanza en la tercera población de individuos y en esa misma generación existen algunos individuos que no cumplan completamente el perfil requerido, por lo que será tarea del tomador de decisiones cuál de las propuestas encontradas por el AG utilizar en base a los criterios de decisión que el entorno le permita.

Además de lo anterior, el AG, en este caso, representa una oportunidad para mejorar la eficiencia de los procesos, es decir que la aplicación de la técnica del AG apoya a la gestión de la calidad, en la mejora de un proceso de apoyo, el de programación del personal de enfermería en el servicio de consulta externa de una Institución de salud pública, esto, en términos del tiempo, el cual puede dedicar la jefa de enfermeras en realizar otras actividades, la idoneidad del personal o perfil requerido en cada consultorio para brindar servicios de mayor calidad y en términos de los costos.

En los anexos 2 y 3 de esta tesis se presenta una corrida íntegra del software basado en AG para la programación del personal de enfermería en el servicio de consulta externa, lo cual implicó la asignación de 49 trabajadores del personal de enfermería de una plantilla disponible de 297 trabajadores para los 34 consultorios del servicio de consulta externa del HGMS. En donde puede observarse, que en la programación actual del personal, existe un desperdicio innecesario del orden de poco menos del 22% en

los costos del personal, con respecto a la programación óptima encontrada por el programa basado en AG. Ya que en la plantilla de personal de enfermería existen individuos que pueden cumplir con el perfil requerido a menor costo, lo que impacta en la reducción de los mismos y la aplicación de esos recursos en otras áreas. Ahora, con relación a la pertinencia del personal de la plantilla actual, un 53% cumplen completamente con el perfil deseado, 38.8% cumplen medianamente el perfil deseado, un 6.12% tienen perfil deficiente para el consultorio y por último, 2.04% definitivamente no cumple con ninguno de los requerimientos del consultorio en cuanto al perfil deseable. En cambio, en la solución encontrada por el AG el 100% del personal cubre el perfil requerido en los consultorios, impactando con ello positivamente, en la calidad técnica y por tanto, la calidad percibida por el usuario.

CONCLUSIONES

El potencial e impacto de las tecnologías de información y comunicaciones en el ámbito de la administración, y en particular de la calidad en la atención de los servicios de salud es hoy en día, una realidad. La existencia de proyectos como *e-salud*, *Visión México 2020*, entre otros e instancias como la Subdirección de Tecnologías de Información de la Secretaría de Salud, así lo confirman. Sin embargo, la heterogeneidad en el uso de estas tecnologías y su aplicación como meros instrumentos cuantitativos y de control, originan el desfase entre su implantación y el impacto que ésta debería representar en la calidad de la atención. Por lo anterior, en esta sección se analiza y responden a los objetivos planteados y a las hipótesis motivo de esta tesis, a través de las siguientes conclusiones.

1. Actualmente, en **México y Michoacán la gestión del sistema de salud se orienta a** crear nuevos paradigmas centrados en: lograr mayor equidad en la accesibilidad a los servicios de salud, lograr solidez financiera y sostenibilidad de los servicios, lograr mayor eficiencia, efectividad y calidad en los servicios, enfoque orientado al usuario creando nuevos valores culturales, crear incentivos basados en el desempeño y los resultados, fortalecer el trabajo en equipo, interdisciplinario e intersectorial, generar un mercado interno, crear competencia y separar el papel del gobierno en el aseguramiento de la producción de servicios.
2. **Las prácticas administrativas provenientes del sector privado implantadas en la gestión del sistema de salud mexicano, derivadas del sistema económico preponderante son:** la dirección estratégica, el incremento de la productividad y la eficiencia, la adopción de programas de estímulos con indicadores de desempeño y premios a la calidad, los estudios de costos, el mejoramiento de los sistemas de información, la implantación de sistemas de auditoría y control, la tendencia a tener formas de contratación flexibles y precarización del trabajo, la capacitación de los directivos para que desarrollen habilidades administrativas, el fomento del liderazgo carismático y transformacional, la adopción de paradigmas de mejora continua y la adopción de modelos de calidad.
3. **En México, y en particular en Michoacán, algunas de las problemáticas de la gestión de los servicios de salud que impactan negativamente en la calidad de la atención, tiene que ver con:** el acceso diferencial a los servicios de salud, ya que de acuerdo a la modalidad de afiliación

los paquetes de beneficios son diferentes, el acceso a la calidad de atención es diferente entre instituciones y dentro de las instituciones, la falta de entrenamiento en gerencia de servicios de salud que se refleja en la carencia de capacidad de gestión, la desarticulación entre los componentes de gerencia y administración de los servicios y sistemas de información para la toma de decisiones (se toman decisiones no confiables, ni válidas), existencia de una cultura de medición para informar, no para decidir, la incapacidad para producir servicios de salud para la demanda existente (recursos humanos, infraestructura, equipo médico, distribución de medicamentos), entre otros.

4. **La forma de gestión del sistema de salud es la de una propiedad del estado, pero con funcionamiento privado y con tendencia a que crezca la participación de ese sector en el mismo.** Sin embargo cabe cuestionarse si la salud, siendo un servicio meritorio, es decir que se considera como uno de los derechos fundamentales del ser humano y que implica la vida de una persona, puede caber en este enfoque.
5. **El programa de la Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud, estrategia para operacionalizar la gestión de la calidad en el sector salud** en México, pretende propiciar que en todos los niveles de las instituciones y de manera coordinada se cuente con sistemas de mejora continua de la calidad como instrumentos de gestión, llevando a cabo la gestión directiva y operativa de la mejora de la calidad como parte de un sistema interinstitucional para las áreas y procesos críticos tanto de atención, como de apoyo de carácter estratégicos.
6. El diagnóstico referente a la estandarización de procesos indica que, aunque algunos procesos de apoyo a la atención han sido estandarizados, no se ha tomado en cuenta la perspectiva de los propios profesionales de la salud y **no se ha considerado la posibilidad de contar con el apoyo de recursos tecnológicos de bajo costo que agilicen la ejecución de estos procesos.**
7. **La Secretaría de Salud recomienda que se especifique la definición de procesos de apoyo, en base a su contribución a los procesos estratégicos,** en ese sentido, se pregunta: de qué manera se asegura el logro de los niveles y estándares de desempeño, de qué manera se identifica y priorizan las oportunidades de mejora en base al análisis de desempeño y a sus metas, la integración de la metodología de mejora continua en estos procesos, así como el diseño de los

indicadores de efectividad y eficiencia de los procesos de apoyo, y la descripción de los ciclos de mejora de sus procesos de apoyo, y la manera en que son aplicadas las mejoras para optimizar los procesos. Para ello se ha adoptado el ciclo de mejora continua Shewhart-Deming.

8. Entre los beneficios sociales tangibles (indicadores) de una adecuada gestión de la calidad en los servicios de salud se encuentran los siguientes: **la disminución de los tiempos de espera en el servicio de consulta externa**, la disminución de los tiempos de espera en los servicios de urgencias, el incremento en la satisfacción de los usuarios en términos de la información sobre el diagnóstico, pronóstico y tratamiento de sus padecimientos, la disminución de complicaciones y errores graves como consecuencia de internamientos hospitalarios, el acceso a información confiable en cuanto a los indicadores de desempeño (calidad y eficiencia) de los recursos humanos del área de la salud, **el ahorro en costos en la prestación de servicios, derivado de la eliminación de desperdicios y mayor eficiencia de los procesos.**
9. La Secretaría de Salud, en su papel rector del sector salud, ha tratado de homogenizar el equipamiento y los sistemas informáticos a través de **la Dirección General de Tecnologías de la Información**, que **en su misión contempla “incorporarlas como elemento fundamental”, “a fin de generar un impacto favorable en la calidad” de los servicios de salud.** Asimismo, **los parámetros de certificación de hospitales contemplan el que las unidades de servicio de salud cuenten “con la calidad y cantidad tecnológica adecuada de equipo de cómputo y sistemas informáticos para apoyar los servicios de los hospitales”.** Sin embargo, existe una gran heterogeneidad en su aplicación, la cual se encuentra principalmente orientada hacia la cuantificación y el control, no a la mejora de procesos que directamente impactan en la calidad de la atención de la población a la que se atiende.
10. El inventario de sistemas de información de la Secretaría de salud da cuenta de que existen sistemas para apoyar la vigilancia epidemiológica, el registro patológico, el seguimiento de políticas y programas prioritarios de salud, la facturación, el manejo de almacenes, control de costos, manejo de nómina, planeación, seguimiento del desempeño de las unidades de salud, la alta y seguimiento de los derechohabientes, así como la existencia de un club de software para *“compartir herramientas informáticas para beneficio del sector salud”.*

11. Existen diferentes posturas en relación al grado en que la inteligencia artificial puede apoyar a la inteligencia humana. Una de las menos extremas es la que sostiene Panczyk (2001), la de que es posible superar la capacidad humana solo en algunos casos, uno de estos es cuando a un problema se le van agregando más variables, y se va haciendo más difícil de solucionar para un humano, y en cierto punto una computadora comienza a superarlo. Además, piensa que las computadoras tienen ventaja debido a que: su desempeño nunca se deteriora debido a la fatiga, su atención nunca se distrae, y nunca se enredan emocionalmente como los humanos
12. Los métodos de inteligencia artificial más utilizados para ganar ventaja competitiva en las organizaciones contemporáneas son: los sistemas expertos; para la preservación del conocimiento del personal, las redes neuronales; para la predicción y el reconocimiento de patrones, los algoritmos evolutivos; para solucionar problemas de programación de roles y horarios del personal, localización de recursos, en la localización de plantas que más beneficios aporten a las empresas y en la solución de problemas típicos de investigación de operaciones en donde se tengan muchas restricciones. Así como los sistemas híbridos, como la lógica borrosa.
13. La técnica del AG, trata de encontrar las mejores soluciones en el espacio de búsqueda definido por el dominio de la función, pero no todos los problemas son susceptibles de resolverse mediante esta técnica y se recomienda tomar en cuenta las siguientes características antes de intentar usarla: el espacio de búsqueda debe estar delimitado dentro de un cierto rango, debe poder definirse una función de aptitud que indique qué tan buena o mala es una solución, las soluciones deben codificarse en una forma relativamente fácil.
14. La técnica del AG es recomendable para resolver problemas que tengan espacios de búsqueda discretos, aunque éstos sean muy grandes. Sin embargo, también podrá intentarse usar la técnica con espacios de búsqueda continuos, cuando exista un rango de soluciones relativamente pequeño y codificándolos con una representación entera. Por otra parte, con un esquema de numeración real no es necesario un paso de decodificación dado que los genes ya se encuentran en la forma en que se van a utilizar.
15. Debido a la naturaleza del AG, es más fácil aplicarlo para resolver problemas de optimización que busquen máximos (obtener los valores más altos de la función objetivo). Sin embargo, aplicando

una transformación matemática pueden usarse para resolver problemas de optimización que busquen mínimos.

16. Los AG son robustos, ya que se desempeñan consistentemente bien en un extenso tipo de problemas, aplican la búsqueda en un conjunto de puntos, en vez de un solo punto, esto es evalúan varias posibles soluciones simultáneamente, no son capturados por máximos o mínimos locales debido al operador de mutación y usa los resultados históricos, conduciendo la búsqueda hacia regiones prometedoras de solución de la función de aptitud.
17. Los AG son distintos de otros procedimientos de búsqueda y optimización en cuatro formas: trabajan con una codificación del conjunto de parámetros, no con los propios parámetros, buscan en una población de puntos, no punto por punto, usan la información resultado (función objetivo), por lo que no se requiere otro conocimiento auxiliar, usa reglas de transición probabilísticas, no determinísticas.
18. La misión y visión del HGMS consideran la calidad de los servicios de salud y el uso de la tecnología para lograrla. Sin embargo existen muchos procesos que aún se realizan “a pie” de manera ineficiente y originando costos adicionales. Ejemplo de esto es que aún se utilizan libretas y formatos de papel para la programación de citas, órdenes de estudios de laboratorio y cirugías. Es decir, ineficiencia en la gestión y deterioro ambiental en un entorno donde debería ser una prioridad por su demanda y por el tipo de servicio que se presta.
19. En los últimos años se han desarrollado algoritmos que den un conjunto de buenas soluciones, en lugar de una sola óptima, ejemplo de estos es el Algoritmo Genético (AG). El cual representa una alternativa de apoyo al proceso de toma de decisiones en el servicio de consulta externa del HGMS que no se debe desaprovechar, ya que éste se torna complejo cuando existen un gran número de variables involucradas y cuando los cambios del entorno se presentan de manera vertiginosa, por lo que contar con una herramienta que proporcione una gama de soluciones factibles, en poco tiempo en lugar de una única solución óptima, representa una ventaja competitiva.

20. Los aspectos relacionados con factores cualitativos necesarios para considerar en la solución, como el perfil requerido del personal, pueden ser obtenidos a partir de la información que proporcionan los especialistas en el proceso, en este caso que el personal tuviera cierto nivel de estudios, cierta especialidad, estado de salud, limitaciones físicas y destrezas manuales.
21. De acuerdo con el manual de organización, procedimientos y diagnóstico situacional del servicio de consulta externa del HGMS, los procesos administrativos que se llevan a cabo en este servicio son: la coordinación de los servicios, programación del personal médico y para médico, la asignación de consultorios, la recepción y referencia de pacientes, la requisición de suministros, la programación de citas, estudios de laboratorio, cirugías y seguimiento de los mismos. De los cuales, todos aquellos que sean del tipo de problemas de asignación son susceptibles de ser mejorados utilizando la técnica del AG. Además, siendo los servicios de consulta externa, estudios de gabinete y laboratorio, ginecología y obstetricia, cirugía general y medicina interna, los servicios de mayor demanda en el HGMS, los procesos que impactan directamente en la atención y la calidad de los mismos deben estar automatizados.
22. Al utilizar el AG para la optimización de procesos del sector salud, se enfrentan dos tareas importantes: diseñar el esquema de codificación y crear la función de aptitud o la función matemática que asigna un valor numérico a cualquier solución posible y que deberá diseñarse en estrecha colaboración con el personal familiarizado con los procesos.
23. La administración puede hacer uso de distintas disciplinas y conocimientos para ser usados en el proceso de toma de decisiones y obtener una ventaja competitiva, como son: la informática, la inteligencia artificial y la investigación de operaciones.
24. El sector salud brinda servicios a la sociedad, es importante que estos sean de calidad, por lo que es necesario formalizar e informatizar muchos procesos para la toma de decisiones acertadas.
25. Los elementos de la gestión de calidad que se están apoyando con la aplicación de la técnica del AG, son el rediseño, mejora y automatización de procesos.

26. La mayor relevancia de la aplicación del AG en la mejoría de cualquier proceso de asignación, estriba en que no sólo puede obtenerse la solución óptima de los problemas, sino una gama de soluciones factibles que pueden ser evaluadas en términos de las circunstancias predominantes en la unidad de salud.

27. Hemos concluido que para Michoacán la utilización de un programa basado en la técnica del Algoritmo Genético para la mejoría de procesos, como la programación del personal (elegir la combinación de personal de menor costo y mayor pertinencia) es posible.

RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

De acuerdo con el análisis y reflexiones hechas durante la experiencia que representó el llevar a cabo este trabajo, pueden realizarse las siguientes recomendaciones:

1. La utilización de un programa basado en AG en el servicio de consulta externa del hospital general Dr. Miguel Silva y en cualquier centro de salud, para la simplificación de los procesos de asignación, es recomendable, ya que éste permite no sólo conocer una solución óptima, sino una gama de soluciones que pueden ser valoradas a partir de las limitaciones y circunstancias prevalecientes.
2. El AG puede ser utilizado como una herramienta que fortalezca y dé respaldo a la toma de decisiones, aun cuando existan restricciones impuestas por sindicatos y otros factores, ya que permite argumentar, en base a una herramienta de cómputo y al análisis científico de los procesos, cuál es la mejor forma de solucionar un problema.
3. En el ámbito hospitalario, clínico o comunitario, existe toda una gama de problemas que pueden ser atacados u optimizados utilizando el AG, sólo, algunas de las posibilidades que se vislumbraron en este trabajo fueron: la programación de citas, cirugías y estudios de laboratorio, los cuales tienen una gran demanda en la población y representan una gran oportunidad para mejorar la calidad de la atención. Es decir, el uso del AG es generalizable, por lo que puede ser utilizado para resolver diferentes problemas y procesos.

4. Eliminar o minimizar el uso de libretas y órdenes de servicios impresos en papel con la utilización de un sistema informático, representa grandes beneficios para la gestión de la calidad, ya que infunde en la cultura organizacional el respeto por el medio ambiente, la eliminación de desperdicios y la eficiencia en la realización de sus actividades.
5. La existencia de trabajos de tesis que utilizan técnicas de computación evolutiva (como los sistemas expertos, la lógica difusa y el algoritmo genético) en la biblioteca de la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas, representa una oportunidad para continuar el análisis, comparación y estudio de diferentes técnicas de inteligencia artificial y computación evolutiva que son una tendencia en el ámbito de la administración.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia de noticias reporte digital de Michoacán. Hospitales regionales beneficiarán a 470 mil michoacanos habitantes de áreas rurales. 05/07/2007. disponible en <http://www.reportedigital.com.mx/noticias/estado/6554.html>

Aicklein U. The nurse rostering with Genetic Algorithm. Young operational research conference, Reino Unido, 1998.

Aicklein U., Dowsland K. An indirect Genetic Algorithm for a nurse scheduling problem. Computers & Operations Research, 31(5), pp 761-778, 2004.

Arreola R. J. S. Arreola R. A. Programación Lineal, una introducción a la toma de decisiones cuantitativa. Thomson. 2ª. Ed. 2003.

Asociación Internacional de la Seguridad Social. Estrategias para extender la protección de la salud, empecemos por los valores. Disponible en <http://www.issa.int/pdf/belize06/3duran%20.ppt>

Ballesteros H. 175 años de la Facultad de Cs. Médicas y Biológicas "Dr. Ignacio Chávez" de la Universidad Michoacana. Bol. Mex. His. Fil. Med. 2006; 9(1): 21-30

Barquín M. Dirección de Hospitales. 7ª ed. McGraw Hill. 2003

Boyd J. Genetic Algorithm for scheduling of laboratory personnel. Clinical Chemistry 2001 Vol 47(1) 118-123

Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, "Antecedentes", en Salud [Actualización: 28 de agosto de 2006], en http://archivos.diputados.gob.mx/Centros_Estudio/Cesop/Eje_tematico/2_salud.htm

Cira J. L. Localización óptima de capacitores usando algoritmo genético. tesis de maestría. ITM. 1997

Diario Oficial de la Federación. ACUERDO de Coordinación que celebran la Secretaría de Salud y el Estado de Michoacán de Ocampo, para la ejecución en la entidad del Programa de Calidad, Equidad y Desarrollo en Salud (PROCEDES). pp. 13-15. Disponible en <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/comp/ami/100706.pdf>

Fajardo G. Atención Médica; Teoría y práctica. 1ª ed. La prensa médica. 1983

Fundación Mexicana para la Salud. La reforma de la Salud en México. Gaceta Médica de México: 137: 5. 419-443. 2001

Gakidou E., Lozano R., González-Pier E., Evaluación del impacto de la reforma mexicana de salud 2001-2006: un informe inicial. Salud Pública Mex 2007; 49 supl I:S88-S109

Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo. Cuarto informe de gobierno

Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo. Ley General de Salud

Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo. Plan estatal de desarrollo 2003-2008

Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo. Primer informe de gobierno

Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo. Segundo informe de gobierno

Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo. Tercer informe de gobierno

Hernández M. Tendencias en la gestión de los servicios de salud. Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública. Colombia. 2001

Howe D. Free On-Line Dictionary of Computing. Imperial College Department of Computing. Disponible en <http://foldoc.doc.ic.ac.uk/foldoc/foldoc.cgi?query=AI>

Instituto Mexicano del Seguro Social. Informe técnico para la estimación de costos de intervenciones médicas. Disponible en <http://www.imss.gob.mx/NR/rdonlyres/58F95D7B-B8AB-4E2E-ADFC-1DAC44F6798D/18910/VERSFINALPDF.pdf>

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuario estadístico 2005

Instituto Tecnológico de Sonora. Website. <http://www.itson.mx/dii/elagarda/apagina2001/PM/image001.gif>

Lahoz-Beltrán R. Bioinformática, simulación, vida artificial e inteligencia artificial. Ed. Días de Santos. Madrid 2004

Llor B., Abad M., García. Nieto. J.. Ciencias psicosociales aplicadas a la salud. Madrid: Interamericana McGraw-Hill. 1995

Nordlander T. AI Surveying: Artificial Intelligence in business. Tesis de maestría en ciencias de la gestión. Departamento de ciencias de la gestión y estadística. Universidad De Montfort. 2001. Disponible en http://www.csd.abdn.ac.uk/~tnordlan/Publications/Artificial_Intelligence_in_Business.pdf

Organización de las Naciones Unidas. Objetivos de desarrollo del Milenio de la ONU. Disponible en <http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/>

Organización Mundial de la Salud. Informe sobre la Salud en el Mundo 2000. Mejorar el desempeño de los sistemas de salud. Ginebra: OMS, 2000

Organización Panamericana de la Salud, CEPAL OIT. Propuesta Interagencial del Observatorio de Recursos Humanos de Salud. Disponible en <http://www.dor.ops-oms.org/documentos/observatorio%20recursos%20humanos.pdf> 2000

Ponce de León B. Modelo de Planeación Estratégica y Organización de los Hospitales de Morelia. Tesis. UMSNH. 2006.

Puentes R., Gómez D. O, Garrido L. Trato a los usuarios en los servicios públicos de salud en México. Rev. Panam. Salud Publica. 2006;19(6):394-402

Presidencia de la República Mexicana. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. pp. 160-176

Ruelas-B., M.C., M.A.P., M.A.S.S., Vidal-P., M.C., M.A.H. Unidad de Garantía de Calidad. Estrategia para asegurar niveles óptimos en la calidad de la atención médica. Salud Pública Méx 1990; Vol. 32(2):225-23

Secretaría de Salud. Catálogo de servicios de salud. Seminario taller nacional de planeación. Presentación de power point

Secretaría de Salud. Consejo de Salubridad General. Bases para la instrumentación del Programa Nacional de Certificación de Hospitales. Disponible en <http://www.salud.gob.mx/unidades/csg/publica/DOF/CRITERIO.PDF>

Secretaría de Salud. Dirección General de Calidad y Educación en Salud. 1ª. Reunión Nacional de Responsables Estatales de Calidad. Estrategias de Calidad. México. 2007. disponible en http://www.salud.gob.mx/dirgrss/foros_y_reuniones/rep_est_de_calidad/presentaciones/Estrategias_Calidad.ppt

Secretaría de Salud. Las cuentas de salud en México 2001-2005. 2006. disponible en <http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/acerca/inegi324.asp?c=324>

Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-190-SSA-1999

Secretaría de Salud. Normatividad de la Dirección General de Tecnologías de Información. 2004. Disponible en <http://norma-ti.salud.gob.mx/contenidos/mision/mision.html>

Secretaría de Salud. Plan de Desarrollo 2001-2006 de la Dirección General de Tecnologías de Información.

Secretaría de Salud. Programa Nacional de Salud 2001-2006

Secretaría de Salud. Subsecretaría de Innovación y Calidad. Dirección General de Calidad y Educación en Salud. Modelo de Gestión de Calidad de la Secretaría de Salud. 2006

Secretaría de Salud. Subsecretaría de Innovación y Calidad. Dirección General de Calidad y Educación en Salud. Programa de Acción: Cruzada Nacional por la Calidad de los Servicios de Salud. 2002

Secretaría de Salud de Michoacán . Subdirección de Planeación. Carpeta Básica de Información 2006

Secretaria de Salud de Michoacán. Diagnóstico de Salud 2006

Secretaria de Salud de Michoacán. Diagnóstico situacional 2006 del servicio de consulta externa del Hospital General "Dr. Miguel Silva"

Secretaria de Salud de Michoacán. Manual de organización 2006 del servicio de consulta externa del Hospital General "Dr. Miguel Silva"

Secretaria de Salud de Michoacán. Manual de procedimientos 2006 del servicio de consulta externa del Hospital General "Dr. Miguel Silva"

Temes J. L. Gestión Hospitalaria. 3ª ed. McGraw Hill. 2002

Tsoy G., Arnaout J., Smith T., Rabadi G. A Genetic Algorithm approach for surgery operating rooms. Scheduling problem. American Sociating for Engineering Management. Conferencia 2004

Wikipedia. Enciclopedia colaborativa en línea. <http://www.wikipedia.org>

Withagen H. Neural Netwok FAQ. University of Bergen. Disponible en http://www.fi.uib.no/Fysisk/Teori/NEURO/neurons.html#what_is_a_nn

A N E X O S

ANEXO 1.

COSTEO DE PROCESOS EN EL SECTOR SALUD

La tabla 5.6 muestra el desglose de los costos de un servicio de consulta, utilizando la metodología propuesta en el catálogo de servicios de salud de la Secretaría de Salud, en donde la unidad de producción es la consulta, para la cual se identifican los costos fijos y variables⁸⁴:

Ejemplo de costeo de servicios de salud por unidad de producción e identificación de costos fijos y variables		
Unidad de producción	Costos fijos	Costos variables
Consulta	Salarios del personal	Laboratorio
	Médico	Rayos x
	Paramédico	Imagenología
	Otros:	Medicamentos
	Administrativo	Materiales de curación
	Intendencia	
	Farmacia	
	Trabajadoras sociales,	
	etc.	
	Servicios	
	Luz	
	Agua	
	Mantenimiento	
	Gas, etc.	
	Costo de capital anualizado	
	Mobiliario	
	Equipo	
	Instrumental	
	Terreno	
	Infraestructura	

Fuente: Secretaría de Salud. Catálogo de servicios de salud, 2002

En este caso, los costos totales de un período son prorrateados entre el número de consultas del servicio de consulta externa para ese periodo.

⁸⁴ Secretaría de Salud. Catálogo de servicios de salud. Seminario taller nacional de planeación. Presentación de power point. Diapositiva 17/27. 2002

Otra forma de estimar los costos de las intervenciones, es la propuesta del seguro social, utilizando un sistema basado en la identificación de costos directos e indirectos por procedimiento⁸⁵:

Ejemplo de costeo de servicios de salud por procedimiento

I. Personal	Cantidad por sesión	Gasto diario	Costo por sesión
		pesos	
A. Médico	x	y	x * y
B. Técnico	x	y	x * y
C. Intendencia	x	y	x * y
Total			Suma A,B,C
II. Consumibles			
A. Pasta			x * y
B. Electrodo(s)			x * y
C. Otro(s)			x * y
Total			Suma A,B,C
III. Equipo			
A. Electromiógrafo (a+b)			x * y
a. Depreciación			
b. Mantenimiento			
B. Otro(s) (a+b)			x * y
a. Depreciación			
b. Mantenimiento			
Total			Suma A,B
IV. Generales			
A. Electricidad			x * y
B. Agua			x * y
C. Otro(s)			x * y
Total			Suma A,B,C
V. Administración			
A. Cuerpo de Gobierno			x * y
B. Jefatura de servicio			x * y
Total			Suma A,B
Costo Total del Procedimiento			I+II+III+IV+V

Fuente: Instituto Mexicano del Seguro Social. Informe técnico para la estimación de costos de intervenciones médicas. 2005

Para obtener la información requerida en ambas metodologías, se requiere llevar a cabo una entrevista con él/la Jefe/a de servicio y los médicos especialistas y subespecialistas para definir el protocolo de atención que define las acciones relacionadas con el procedimiento en cuestión. Tal protocolo debe considerar las

⁸⁵ Instituto Mexicano del Seguro Social. Informe técnico para la estimación de costos de intervenciones médicas. Disponible en <http://www.imss.gob.mx/NR/rdonlyres/58F95D7B-B8AB-4E2E-ADFC-1DAC44F6798D/18910/VERSFINALPDF.pdf> 2005

etapas, recursos empleados, en términos de tiempos del personal y la cantidad de insumos empleados dentro del procedimiento. Para conocer el gasto se debe obtener la información de las Jefaturas/Áreas/ Direcciones de Planeación y Finanzas, Conservación y Servicios Generales de cada unidad médica correspondiente. Para lo cual se toma como modelo la cédula del Informe Técnico para la estimación de los costos de intervenciones médicas del IMSS, que se presenta en las tablas siguientes:

**Tabla auxiliar para la identificación de costos
en recursos humanos de los servicios de salud**

PROCESO		PERSONAL								
		ENFERMERIA			MÉDICO			OTRO		
ID	NOMBRE Y ESPECIALIDAD	TIEMPO T	SALARIO S	COSTO T x S	TIEMPO T	SALARIO S	COSTO T x S	TIEMPO T	SALARIO S	COSTO T x S
01										
02										
03										
04										

Fuente: cédula del Informe Técnico para la estimación del costos de intervenciones médicas del IMSS. 2005

**Tabla auxiliar para la identificación de costos
de insumos de los servicios de salud**

PROCESO		INSUMOS											
		MEDICAMENTOS			MATERIAL DE CURACIÓN			EQUIPO			CONSUMIBLES		
ID	NOMBRE Y ESPECIALIDAD	UNIDAD U	COSTO UNITARIO CU	COSTO U x CU	UNIDAD U	COSTO UNITARIO CU	COSTO U x CU	TIEMPO T	COSTO C	COSTO T x C	UNIDAD U	COSTO UNITARIO CU	COSTO U x CU
01													
02													
03													
04													
05													

Fuente: Ibidem

ANEXO 2

CORRIDA DEL SOFTWARE PARA PROGRAMAR AL PERSONAL DE ENFERMERÍA DEL SERVICIO DE CONSULTA EXTERNA EN BASE AL ALGORITMO GENÉTICO



OPTIMIZACION DE PROCESOS DEL SISTEMA DE SALUD DE MEXICO: ENTRADA DE DATOS

OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DEL SISTEMA DE SALUD EN MÉXICO: EL CASO DEL SERVICIO DE CONSULTA EXTERNA DEL HOSPITAL GENERAL "DR. MIGUEL SILVA" DE MORELIA MICHOACAN. UTILIZANDO UN PROGRAMA BASADO EN ALGORITMO GENETICO

NUMERO DE CONSULTORIOS

ENFERMERAS DISPONIBLES

OPTIMIZACION DE PROCESOS DEL SISTEMA DE SALUD DE MEXICO: PARAMETROS DEL ALGORITMO GENETICO

OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DEL SISTEMA DE SALUD EN MÉXICO: EL CASO DEL SERVICIO DE CONSULTA EXTERNA DEL HOSPITAL GENERAL "DR. MIGUEL SILVA" DE MORELIA MICHOACAN. UTILIZANDO UN PROGRAMA BASADO EN ALGORITMO GENETICO

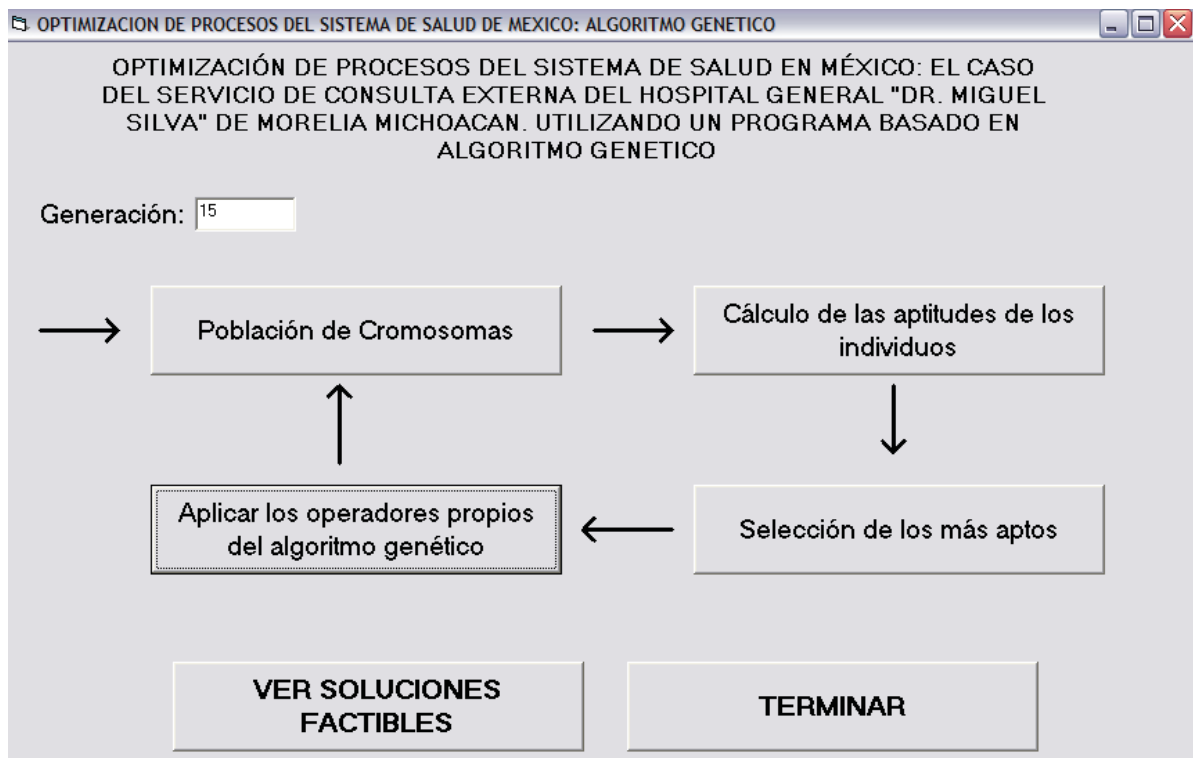
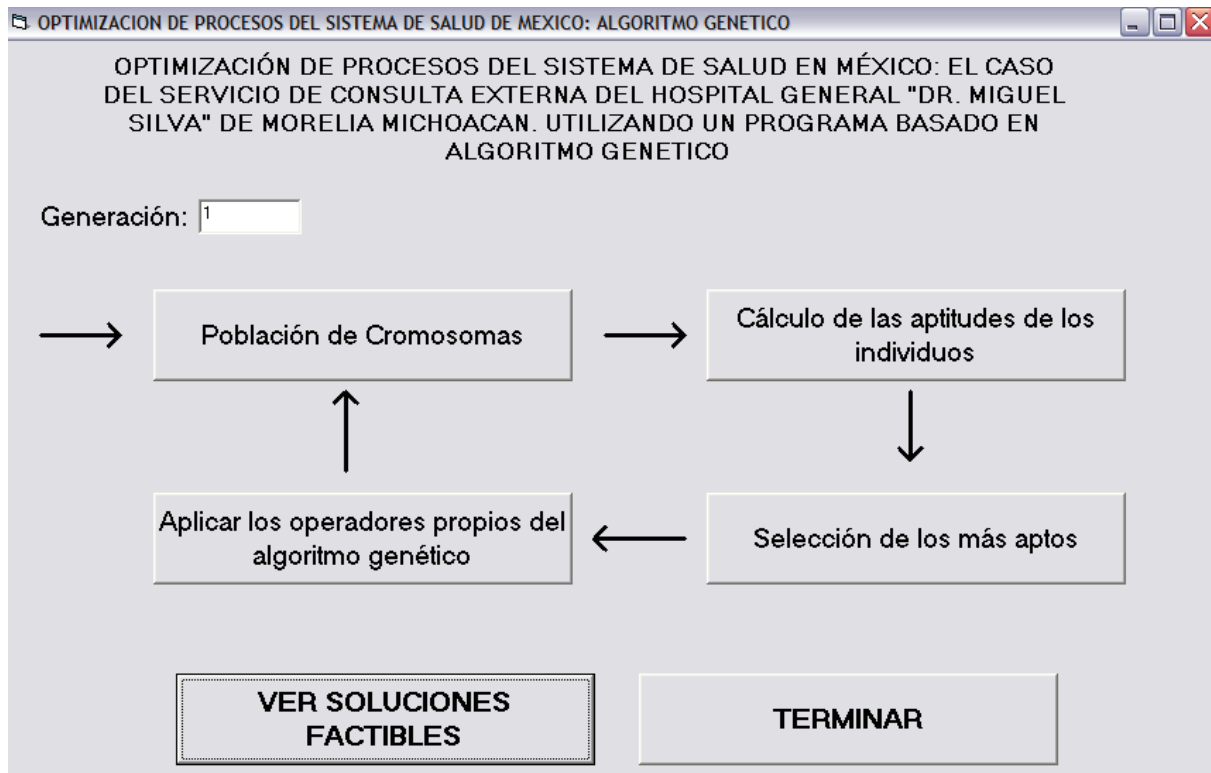
LONGITUD DEL CROMOSOMA

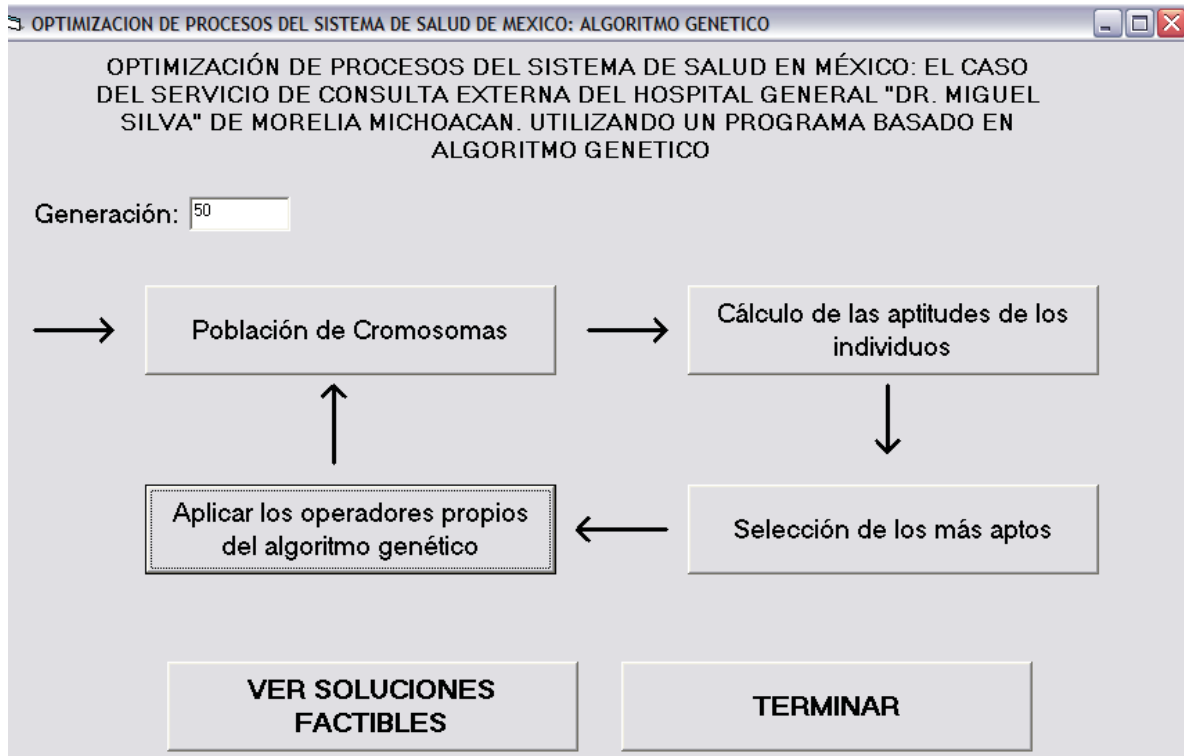
TAMAÑO DE LA POBLACION

NUMERO DE GENERACIONES

PROBABILIDAD DE CRUZA

PROBABILIDAD DE MUTACION





OPTIMIZACION DE PROCESOS DEL SISTEMA DE SALUD DE MEXICO: SOLUCION OPTIMA

OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DEL SISTEMA DE SALUD EN MÉXICO: EL CASO DEL SERVICIO DE CONSULTA EXTERNA DEL HOSPITAL GENERAL "DR. MIGUEL SILVA" DE MORELIA MICHOACAN. UTILIZANDO UN PROGRAMA BASADO EN ALGORITMO GENETICO

SOLUCION ÓPTIMA

consul(1) enfer(20); consul(2) enfer(37); consul(3) enfer(43); consul(4) enfer(216); consul(5) enfer(73); consul(6) enfer(175); consul(7) enfer(197); consul(8) enfer(208); consul(9) enfer(122); consul(10) enfer(75); consul(11) enfer(99); consul(12) enfer(83); consul(13) enfer(223); consul(14) enfer(232); consul(15) enfer(220); consul(16) enfer(182); consul(17) enfer(40); consul(18) enfer(180); consul(19) enfer(150); consul(20) enfer(15); consul(21) enfer(18); consul(22) enfer(17); consul(23) enfer(31); consul(24) enfer(47); consul(25) enfer(137); consul(26) enfer(153); consul(27) enfer(13); consul(28) enfer(19); consul(29) enfer(184); consul(30) enfer(199); consul(31) enfer(23); consul(32) enfer(92); consul(33) enfer(8); consul(34) enfer(252); consul(35) enfer(246); consul(36) enfer(248); consul(37) enfer(272); consul(38) enfer(275); consul(39) enfer(297); consul(40) enfer(1); consul(41) enfer(80); consul(42) enfer(91); consul(43) enfer(10); consul(44) enfer(171); consul(45) enfer(22); consul(46) enfer(206); consul(47) enfer(24); consul(48) enfer(103); consul(49) enfer(214);

COSTO DE ASIGNACION

REGRESAR AL INICIO **TERMINAR**

ANEXO 3

PROGRAMACIÓN ACTUAL VS. PROGRAMACIÓN DEL AG, DEL PERSONAL DE ENFERMERÍA EN TÉRMINOS DE COSTO Y PERTINENCIA DEL PERFIL

La siguiente tabla resume cuál es el perfil deseable para el personal que sea asignado a los 34 consultorios del servicio de consulta externa:

ID	CONSULTORIO	ESPECIALIDADES	GA REQ	ESP REQ	APT REQ
1	1	CLINICA DEL HIGADO	ENFERMERA GENERAL		
2	1	NEFROLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
3	2	GASTROENTEROLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
4	3	CARDIOLOGIA	LICENCIADA EN ENFERMERIA		
5	4	ENDOSCOPIA	ENFERMERA GENERAL	QUIRUGICA	DESTREZA MANUAL
6	4	PROCTOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
7	4	UROLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
8	5	UROLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
9	6	TRAUMATOLOGIA Y ORTOPIEDIA	AUXILIAR DE ENFERMERIA		
10	7	GINECOBSTERICIA	LICENCIADA EN ENFERMERIA	OBSTETRICIA	
11	7	TRAUMATOLOGIA Y ORTOPIEDIA	ENFERMERA GENERAL	TERAPISTA	
12	8	GINECOBSTERICIA	LICENCIADA EN ENFERMERIA	OBSTETRICIA	
13	8	ONCOLOGIA	LICENCIADA EN ENFERMERIA		
14	8	TRAUMATOLOGIA Y ORTOPIEDIA	ENFERMERA GENERAL		
15	9	CONSULTA GENERAL	ENFERMERA GENERAL		
16	10	OTORRINOLARINGOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
17	11	URGENCIAS OBSTETRICAS	LICENCIADA EN ENFERMERIA	GINECO-OBSTETRICIA	
18	12	GINECOBSTERICIA	ENFERMERA GENERAL		
19	13	GINECO-PLANIFICACION FAMILIAR	ENFERMERA GENERAL		
20	14	PLANIFICACION FAMILIAR	ENFERMERA GENERAL		
21	15	NEUMOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
22	16	OFTALMOLOGIA	LICENCIADA EN ENFERMERIA	QUIRUGICA	DESTREZA MANUAL
23	17	TOMOGRFIA	ENFERMERA GENERAL		
24	18	CLINICA DEL HIGADO	ENFERMERA GENERAL		
25	19	ECOCARDIOGRAFIA	LICENCIADA EN ENFERMERIA		
26	19	RAYOS X	AUXILIAR DE ENFERMERIA		
27	19	ULTRA SONIDO	AUXILIAR DE ENFERMERIA		
28	20	ANESTESIOLOGIA	ENFERMERA GENERAL	QUIRUGICA	
29	21	OTORRINOLARINGOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
30	22	CIRUGIA CARDIOVASCULAR	ENFERMERA GENERAL	QUIRUGICA	
31	22	ENDOCRINOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
32	22	INFECTOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
33	23	CIRUGIA	LICENCIADA EN ENFERMERIA	QUIRUGICA	DESTREZA MANUAL
34	23	CIRUGIA PLASTICA Y RECONSTRUCTIVA	ENFERMERA GENERAL	QUIRUGICA	
35	23	EPIDEMIOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
36	24	MEDICINA FAMILIAR	ENFERMERA GENERAL		
37	25	HEMATOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
38	26	DERMATOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
39	26	PSICOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
40	27	NEUROCIRUGIA	LICENCIADA EN ENFERMERIA		
41	28	ELECTROENCEFALOGRAMA	ENFERMERA GENERAL	INTENSIVISTA	
42	29	ELECTROENCELOGRAFIA	ENFERMERA GENERAL	INTENSIVISTA	
43	30	SALUD PUBLICA	LICENCIADA EN ENFERMERIA		
44	31	PSQUIATRIA	AUXILIAR DE ENFERMERIA		
45	31	REUMATOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
46	32	ODONTOLOGIA	AUXILIAR DE ENFERMERIA		
47	32	REUMATOLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
48	33	NEUROLOGIA	ENFERMERA GENERAL		
49	34	PSQUIATRIA	AUXILIAR DE ENFERMERIA		

GA REQ = Grado académico requerido
ESP REQ = Especialidad requerida
APT REQ = Habilidad requerida

Actualmente, la programación de personal de enfermería es la que se muestra en la siguiente tabla:

ID	CONSULTORIO	ESPECIALIDADES	ENFERMERA	CUMPLE GAMIN REQ	CUMPLE ESP REQ	CUMPLE APT REQ	SALARIO TABULAR	PERTINENCIA
1	1	CLINICA DEL HIGADO	145	N	-	-	\$12,425.00	2
2	1	NEFROLOGIA	191	N	-	-	\$12,425.00	2
3	2	GASTROENTEROLOGIA	236	N	-	-	\$12,425.00	2
4	3	CARDIOLOGIA	270	N	-	-	\$12,425.00	2
5	4	ENDOSCOPIA	263	S	N	N	\$18,825.00	1
6	4	PROCTOLOGIA	285	N	-	-	\$12,425.00	2
7	4	UROLOGIA	32	N	-	-	\$18,825.00	2
8	5	UROLOGIA	266	N	-	-	\$12,010.00	2
9	6	TRAUMATOLOGIA Y ORTOPEDIA	234	S	-	-	\$10,550.00	3
10	7	GINECOBSTERICIA	187	N	N	-	\$18,825.00	1
11	7	TRAUMATOLOGIA Y ORTOPEDIA	23	S	-	-	\$10,550.00	3
12	8	GINECOBSTERICIA	58	S	N	-	\$12,425.00	2
13	8	ONCOLOGIA	142	S	-	-	\$17,515.00	3
14	8	TRAUMATOLOGIA Y ORTOPEDIA	162	S	-	-	\$12,425.00	3
15	9	CONSULTA GENERAL	174	S	-	-	\$12,425.00	3
16	10	OTORRINOLARINGOLOGIA	73	S	-	-	\$12,425.00	3
17	11	URGENCIAS OBSTETRICAS	237	N	S	-	\$12,425.00	2
18	12	GINECOBSTERICIA	69	S	-	-	\$13,315.00	3
19	13	GINECO-PLANIFICACION FAMILIAR	186	S	-	-	\$13,315.00	3
20	14	PLANIFICACION FAMILIAR	287	S	-	-	\$13,315.00	3
21	15	NEUMOLOGIA	30	S	-	-	\$18,825.00	3
22	16	OF TALMOLOGIA	55	N	S	N	\$18,825.00	1
23	17	TOMOGRFIA	253	S	-	-	\$13,315.00	3
24	18	CLINICA DEL HIGADO	54	S	-	-	\$18,825.00	3
25	19	ECOCARDIOGRAFIA	251	N	-	-	\$12,425.00	2
26	19	RAYOS X	65	N	-	-	\$10,550.00	2
27	19	ULTRA SONIDO	33	N	-	-	\$18,825.00	2
28	20	ANESTESIOLOGIA	179	S	N	-	\$18,825.00	2
29	21	OTORRINOLARINGOLOGIA	76	S	-	-	\$18,825.00	3
30	22	CIRUGIA CARDIOVASCULAR	255	S	N	-	\$18,825.00	2
31	22	ENDOCRINOLOGIA	105	S	-	-	\$18,825.00	3
32	22	INFECTOLOGIA	108	S	-	-	\$18,825.00	3
33	23	CIRUGIA	67	N	N	N	\$12,425.00	0
34	23	CIRUGIA PLASTICA Y RECONSTRUCTIVA	265	S	S	-	\$17,515.00	3
35	23	EPIDEMIOLOGIA	117	S	-	-	\$18,825.00	3
36	24	MEDICINA FAMILIAR	127	S	-	-	\$18,825.00	3
37	25	HEMATOLOGIA	138	S	-	-	\$18,825.00	3
38	26	DERMATOLOGIA	185	S	-	-	\$18,825.00	3
39	26	PSICOLOGIA	200	S	-	-	\$18,825.00	3
40	27	NEUROCIRUGIA	274	N	-	-	\$18,825.00	2
41	28	ELECTROENCEFALOGRAMA	284	S	N	-	\$18,825.00	2
42	29	ELECTROENCELOGRAFIA	10	S	N	-	\$10,550.00	2
43	30	SALUD PUBLICA	143	N	-	-	\$10,550.00	2
44	31	PSIQUIATRIA	165	N	-	-	\$10,550.00	2
45	31	REUMATOLOGIA	272	S	-	-	\$10,550.00	3
46	32	ODONTOLOGIA	110	S	-	-	\$13,580.00	3
47	32	REUMATOLOGIA	271	S	-	-	\$13,580.00	3
48	33	NEUROLOGIA	173	S	-	-	\$17,515.00	3
49	34	PSIQUIATRIA	4	S	-	-	\$12,425.00	3
TOTAL COSTO							\$738,025.00	

N = No cumple con el requerimiento del perfil

S = Si cumple con el requerimiento del perfil

- = No existe requerimiento al respecto

La siguiente tabla muestra la programación del personal de enfermería utilizando el programa basado en AG:

ID	CONSULTORIO	ESPECIALIDADES	ENFERMERA	CUMPLE GAMIN REQ	CUMPLE ESP REQ	CUMPLE APT REQ	SALARIO TABULAR MENSUAL	PERTINENCIA
1	1	CLINICA DEL HIGADO	20	S	S	S	\$10,550.00	3
2	1	NEFROLOGIA	37	S	S	S	\$10,550.00	3
3	2	GASTROENTEROLOGIA	43	S	S	S	\$10,550.00	3
4	3	CARDIOLOGIA	216	S	S	S	\$10,550.00	3
5	4	ENDOSCOPIA	73	S	S	S	\$12,425.00	3
6	4	PROCTOLOGIA	175	S	S	S	\$10,550.00	3
7	4	UROLOGIA	197	S	S	S	\$10,550.00	3
8	5	UROLOGIA	208	S	S	S	\$10,550.00	3
9	6	TRAUMATOLOGIA Y ORTOPEDIA	122	S	S	S	\$10,550.00	3
10	7	TRAUMATOLOGIA Y ORTOPEDIA	75	S	S	S	\$18,825.00	3
11	7	GINECOBSTERICIA	99	S	S	S	\$18,825.00	3
12	8	GINECOBSTERICIA	83	S	S	S	\$18,825.00	3
13	8	TRAUMATOLOGIA Y ORTOPEDIA	223	S	S	S	\$10,550.00	3
14	8	ONCOLOGIA	232	S	S	S	\$10,550.00	3
15	9	CONSULTA GENERAL	220	S	S	S	\$10,550.00	3
16	10	OTORRINOLARINGOLOGIA	182	S	S	S	\$10,550.00	3
17	11	URGENCIAS OBSTETRICAS	40	S	S	S	\$18,825.00	3
18	12	GINECOBSTERICIA	180	S	S	S	\$10,550.00	3
19	13	GINECO-PLANIFICACION FAMILIAR	150	S	S	S	\$10,550.00	3
20	14	PLANIFICACION FAMILIAR	15	S	S	S	\$10,550.00	3
21	15	NEUMOLOGIA	18	S	S	S	\$10,550.00	3
22	16	OFTALMOLOGIA	17	S	S	S	\$10,550.00	3
23	17	TOMOGRFIA	31	S	S	S	\$10,550.00	3
24	18	CLINICA DEL HIGADO	47	S	S	S	\$10,550.00	3
25	19	RAYOS X	137	S	S	S	\$10,550.00	3
26	19	ULTRA SONIDO	153	S	S	S	\$10,550.00	3
27	19	ECOCARDIOGRAFIA	13	S	S	S	\$10,550.00	3
28	20	ANESTESIOLOGIA	19	S	S	S	\$13,315.00	3
29	21	OTORRINOLARINGOLOGIA	184	S	S	S	\$10,550.00	3
30	22	CIRUGIA CARDIOVASCULAR	199	S	S	S	\$17,515.00	3
31	22	ENDOCRINOLOGIA	23	S	S	S	\$10,550.00	3
32	22	INFECTOLOGIA	92	S	S	S	\$10,550.00	3
33	23	CIRUGIA	8	S	S	S	\$18,825.00	3
34	23	CIRUGIA PLASTICA Y RECONSTRUCTIVA	252	S	S	S	\$17,515.00	3
35	23	EPIDEMIOLOGIA	246	S	S	S	\$10,550.00	3
36	24	MEDICINA FAMILIAR	248	S	S	S	\$10,550.00	3
37	25	HEMATOLOGIA	272	S	S	S	\$10,550.00	3
38	26	DERMATOLOGIA	275	S	S	S	\$10,550.00	3
39	26	PSICOLOGIA	297	S	S	S	\$10,550.00	3
40	27	NEUROCIRUGIA	1	S	S	S	\$10,550.00	3
41	28	ELECTROENCEFALOGRAMA	80	S	S	S	\$10,550.00	3
42	29	ELECTROENCELOGRAFIA	91	S	S	S	\$10,550.00	3
43	30	SALUD PUBLICA	10	S	S	S	\$10,550.00	3
44	31	PSIQUIATRIA	171	S	S	S	\$10,550.00	3
45	31	REUMATOLOGIA	22	S	S	S	\$10,550.00	3
46	32	ODONTOLOGIA	206	S	S	S	\$10,550.00	3
47	32	REUMATOLOGIA	24	S	S	S	\$10,550.00	3
48	33	NEUROLOGIA	103	S	S	S	\$10,550.00	3
49	34	PSIQUIATRIA	214	S	S	S	\$10,550.00	3
TOTAL COSTO							\$576,895.00	

N = No cumple con el requerimiento del perfil

S = Si cumple con el requerimiento del perfil

- = No existe requerimiento al respecto

Como puede observarse, en la programación actual del personal, existe un desperdicio innecesario del orden de poco menos del 22%, con respecto a la programación óptima encontrada por el programa basado en AG. Ya que en la plantilla de personal de enfermería existen individuos que pueden cumplir con el perfil requerido a menor costo, lo que impacta en la reducción de los mismos. Ahora, en relación a la pertinencia del personal de la plantilla actual, un 53% cumplen completamente con el perfil deseado, 38.8% cumplen medianamente el perfil deseado, un 6.12% tienen perfil deficiente para el consultorio y por último, 2.04% definitivamente no cumple con ninguno de los requerimientos del consultorio en cuanto al perfil deseable. En cambio, en la solución encontrada por el AG el 100% del personal cubre el perfil requerido en los consultorios, impactando con ello positivamente, en la calidad técnica y por tanto, la calidad percibida por el usuario.