
La investigación de operaciones en la toma de decisiones

Profesores Orlando Rodríguez Nieto y
Fernando Suárez T.

INTRODUCCION

"Hoy tanto en las grandes empresas como en los Ejércitos, debido a la cantidad y complejidad de los medios que manejan, resulta muy difícil su dirección, coordinación y control basándose sólo en la experiencia e intuición de los hombres (por muy inteligentes que sean) que asumen la responsabilidad del mando. Es necesario que antes de tomar cualquier decisión obtengan una información lo más completa posible".

Para ello se hace indispensable el concurso de nuevas técnicas que faciliten el conocimiento de todos los aspectos que intervienen en la decisión.

RESEÑA HISTORICA

En la Primera Guerra Mundial se dio a Tomás Edison la tarea de averiguar las maniobras más eficaces de los barcos mercantes para disminuir las pérdidas de los embarques causados por submarinos enemigos. En vez de arriesgar los barcos en condiciones bélicas reales, empleó un tablero táctico para hallar la solución.

En los inicios de 1937 se pidió a los científicos ingleses que ayudaran a los militares a descubrir la mejor manera de utilizar el radar para localizar los aviones enemigos. En septiembre de 1937 los científicos que trabajaban en los diferentes aspectos del problema, se reunieron en el cuartel general de los mandos de aviones de combate (RAF), ese fue, entonces, el primer núcleo de un grupo de investigadores de operaciones que amplió su área de acción hasta sobrepasar las necesidades del problema original.

Poco tiempo después de la formación de ese grupo se reunió otro de investigación para estudiar los problemas de puntería de las defensas anti-aéreas (Sep. — 1940). Encabezaba el grupo el físico P.M.S. Blackett (Premio Nobel de Física) de la Universidad de Manchester, quien debería estudiar la actuación del equipo de control de cañones en el campo, especialmente, durante su empleo por la tropa contra los aviones enemigos. Conformaban este equipo: fisiólogos, físicos, matemáticos, un astrofísico, un oficial del Ejército y un antiguo agrimensor. Se agregó

más tarde a ese conjunto de pensadores un tercer fisiólogo, un físico general y dos matemáticos; se le llamaba "El circo de Blackett". Es evidente la extensa gama de disciplina allí representadas, más tarde, se subdividieron y aparecieron equipos trabajando para la marina y el ejército lo que dio como resultado que cada una de las Fuerzas Militares inglesas tuvieran su grupo especializado en investigación de operaciones para llevar a cabo investigaciones científicas durante la guerra.

En los Estados Unidos, el matemático George B. Dantzing, comenzó a trabajar en la Fuerza Aérea junto con Marshall Wood, John Norton y Murray Geisler en la posibilidad de aplicar técnicas matemáticas a la planificación militar.

Este grupo recibió más tarde el nombre de proyecto SCOOP (Scientific Computation of Optimum Programs). En el verano de 1947 crearon el método simplex basado en ecuaciones algebraicas de primer grado.

También se desarrollaron estudios análogos en Canadá, Francia y Rusia (Problema del transporte).

En 1945 G. J. Stigler planteó un problema con todas las características de la programación lineal. Tomó 77 alimentos distintos y consideró nueve elementos nutrientes (calorías, proteínas, vitaminas, etc.) y mediante un tanteo (base del método simplex) llegó a la conclusión de que es posible mantener una dieta adecuada si se consume harina de trigo, repollo y habas secas a un costo mínimo de \$ 39.93 por año. (Es decir, no morirá de inanición pero posiblemente morirá por desesperación).

Para darnos una idea del tipo de problema que allí se estudió veamos el enunciado general del problema.

Suponga que una persona necesita sus nutrientes diferentes para obtener una dieta balanceada (por ejemplo, vitaminas, carbohidratos, proteínas etc.). Además que diariamente la persona debe ingerir un mínimo de b_i unidades del nutriente i . Si existen en el mercado n alimentos diferentes y $1) C_j$ es el costo unitario del alimento j ; $2) a_{ij}$ es el número de unidades del nutriente i que tiene cada unidad del alimento j y $3) Se desea determinar el número de unidades de cada alimento que se deben comprar para obtener una dieta balanceada al mínimo costo; este problema se puede formular como un problema de programación lineal.$

Sea X_j = número de unidades del alimento j que se deben comprar.

Busque los valores de X_1, X_2, \dots, X_n que:

$$(\text{MIN}) Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$$

Tales que:

$$a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + \dots + a_{1n} X_n \geq b_1$$

(Continúa en la página siguiente)

(Viene de la página anterior)

$$a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + \dots + a_{2n} X_n \geq b_2$$

$$a_{m1} X_1 + a_{m2} X_2 + \dots + a_{mn} X_n \geq b_m$$

$$X_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Este problema se podría llevar a la práctica en el caso de que el Departamento 3 del Comando General decidiera ordenar el estudio de la ración ideal de campaña a costo mínimo para el soldado colombiano.

Obsérvese que no solamente se necesitan dietistas que digan lo que debe consumir cada persona sino la cantidad ideal de proteínas, carbohidratos, vitaminas etc., que debe consumir nuestro soldado y los alimentos acordes con nuestro medio en los cuales se encuentran esos elementos así como sus proporciones. También se necesitan las personas que planteen el problema y lo resuelvan, especialistas en conservación y empaque de alimentos. En resumen todo un equipo interdisciplinario.

Debido a los esfuerzos de los primeros grupos de I. O., según los informes que se tienen fueron indispensables para ganar combates militares como la Batalla Aérea Británica, la Batalla del Mar de Atlántico Norte y la campaña de las Islas del Pacífico.

Ellos estudiaron el tamaño óptimo de las caravanas de barcos para minimizar las pérdidas por ataques submarinos, la determinación del color adecuado de los aviones para minimizar su detección por submarinos (o maximizar el número de submarinos hundidos). Determinaron la mejor manera de desplazar las unidades de radar para el cumplimiento potencial contra posibles ataques enemigos, diseñaron nuevos patrones de vuelo, planearon la colocación de minas marinas y la utilización efectiva de equipo electrónico. Para algunos estudios sólo se necesitaron estadísticas simples.

Los aportes principales después de 1947 fueron hechos por John Van Newmann, genial creador de los juegos de estrategia. El desarrollo de la I. O., la ha llevado a ser aplicada no solamente dentro de las Fuerzas Armadas sino en la industria, el comercio, la administración, la sociología, etc.

Con posteridad a la guerra, el rápido crecimiento económico, género, complejidad y especialización de las actividades de organización, asignación de recursos, producción etc., motivaron la necesidad de disponer de especialistas para asesorar a las empresas y a las organizaciones del gobierno. El mayor esfuerzo de organización recayó en las entidades que durante la guerra habían servido dentro de los grupos de trabajo que aplicaron los modelos matemáticos a las operaciones militares. En ambas situaciones los problemas eran básicamente semejantes, aunque en un ambiente distinto. La I. O., empezó a transplantarse al campo industrial.

LA INVESTIGACION DE OPERACIONES

Generalidades.

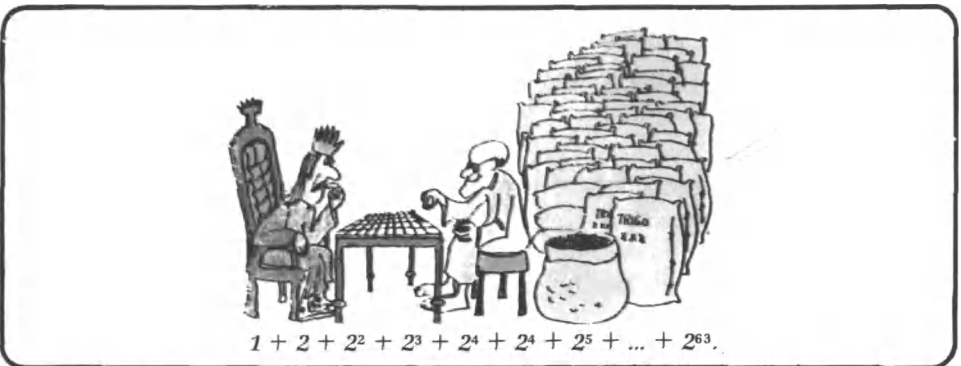
La I. O., es la aplicación del método científico a los problemas de decisión en las empresas y otras organizaciones, incluyendo el gobierno y las Fuerzas Armadas.

Otro tipo
de
operaciones



Método Científico.

Para mejor comprensión de esta definición, expliquemos el método científico. El propósito de la ciencia es la predicción eficiente de las consecuencias que pueden tener determinadas acciones o fenómenos o descubrir las reglas o modelos a que queden sujetos. Constituye una manera eficiente de predecir el comportamiento futuro de los fenómenos observados, preservar la experiencia acumulada del ser humano, enriquecerla comunicarla y enseñarla.



La ciencia utiliza el método científico, el cual es un proceso continuo de observación. Desarrolla las reglas para descubrir tanto la observación pasada como la futura, reiniciándose nuevamente el ciclo. Conforme el ciclo se repite van mejorándose las reglas de predicción y evoluciona la capacidad para explicar mejor el método científico.

¿Qué es un modelo?

Las reglas para predecir el comportamiento futuro se representan en un modelo. El concepto de modelo juega un papel central en la I. O., tal como ocurre en otras ciencias. Un modelo es una representación de la realidad que sirve como herramienta para predecir los acontecimientos futuros. Una característica común a todas estas herramientas es la ventaja de su fácil aplicación, pero se sacrifica alcance y generalidad, ya que el modelo se diseña para responder a preguntas específicas. Precisamente, la necesidad urgente de desarrollar modelos científicos para responder a las incontables preguntas que plantearon las acciones militares durante la segunda guerra mundial propició el desarrollo de la I. O.

Es el modelo una representación de la realidad que sirve como herramienta para predecir los acontecimientos futuros. Una de las razones básicas para el desarrollo de modelos es la de descubrir cuáles son las variables importantes.

Los modelos pueden clasificarse por sus dimensiones, funciones, propósitos, temas o grados de abstracción. Los modelos más comunes son: icónicos, analógicos y simbólicos (matemático). Un modelo icónico es una representación física de unos objetos ya sea en forma idealizada o en escala distinta, como por ejemplo una fotografía, planos y mapas, o puede estar en tres dimensiones como un globo o un automóvil, un avión, etc. Cuando un modelo sobrepasa la tercera dimensión como ocurre en muchos problemas de I. O., es imposible construirlo físicamente, entonces pertenece a otra categoría de modelos que son los simbólicos o matemáticos.

Los modelos analógicos representan situaciones dinámicas y se usan más que los icónicos porque pueden mostrar las características del acontecimiento que se estudia. Las curvas de demanda en economía, la distribución de frecuencia en estadística y los diagramas de flujo, son ejemplos de modelos analógicos. Un modelo analógico es más ventajoso muchas veces que un icónico para representar las relaciones cuantitativas.

Otra ventaja de los modelos analógicos sobre los icónicos es que ordinariamente puede hacerse que los primeros representen muchos procesos distintos del mismo tipo, lo que se hace evidente en los flujos de trabajos en proceso y productos terminados en una fábrica.

Los modelos simbólicos son los que principalmente nos interesan puesto que son, verdaderamente, la representación de la realidad y toman la forma de cifras, símbolos y concepciones matemáticas. Comienzan como modelos abstractos que formamos en nuestra mente y luego se registran como modelos simbólicos, un tipo de modelo simbólico o matemático que se usa cotidianamente en matemáticas es una ecuación.

Una ecuación es concisa, precisa y fácil de comprender. Sus símbolos no solamente son mucho más fáciles de manipular que las palabras sino que se escriben más rápidamente, además de ésto, los modelos simbólicos se prestan a las manipulaciones de las computadoras.

Un ejemplo de un modelo lineal (ecuaciones y desigualdades de primer grado) es el problema de la dieta anteriormente descrito.

Los modelos simbólicos pueden separarse en dos categorías probabilístico y determinístico. Los modelos que se basan en probabilidades y en las estadísticas y que se ocupan de interrelaciones futuras se llaman probabilísticos. Los modelos cuantitativos que no contienen consideraciones probabilísticas se llaman modelos determinísticos.

TOMA DE DECISIONES

Generalidades.

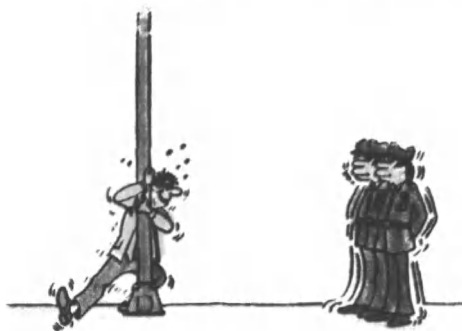
La toma de decisiones como un concepto fundamental en las organizaciones, tiene gran importancia desde el momento en que existen ejecutivos con autoridad y responsabilidad para tomarlas dentro de algún esquema de trabajo específico y se percatan de que existen problemas que requieren un análisis o investigación más profunda para tomar la decisión adecuada.

Así, el problema a estudiar es de decisión, independiente de que comprenda operaciones respectivas en una determinada fase del problema.

Elementos de la toma de decisiones.

Se analizará un proceso de modelos cuantitativos para tener éxito en la solución de problemas reales.

*Ningún elemento
debe contarse
más de una vez*

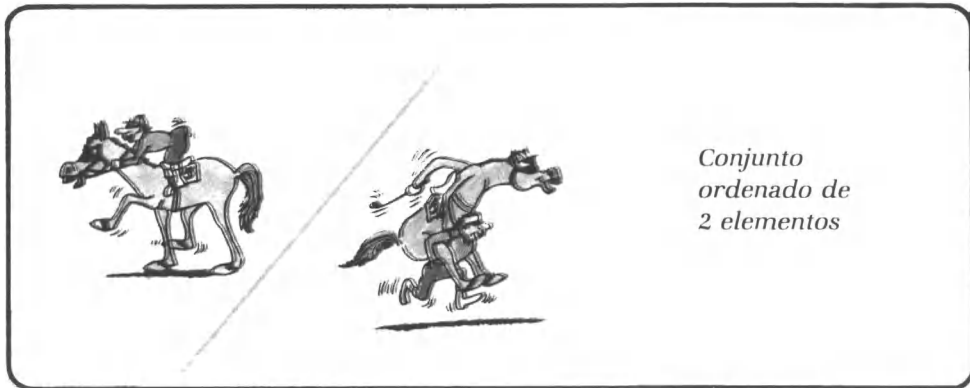


Este proceso se organiza en un marco de ocho pasos de toma de decisiones e incorpora una metodología científica. Debemos aclarar que este esquema no debe considerarse como un conjunto rígido de pasos que se inician en un punto y se siguen secuencialmente uno a uno hasta agotarlos en su totalidad. Considerando una amplia gama de problemas no siempre es necesario seguir todos los pasos para desarrollar su solución. Estos pasos son los siguientes:

Reconocer la necesidad.

La aceptación de que es necesario emprender alguna acción, implica la aceptación de parte de las personas responsables de las decisiones de que se deben tomar algunas medidas para cambiar o mejorar alguna situación determinada. Implícitas

en la aceptación están los objetivos y criterios cuyo alcance evaluará la persona que analice la apropiada relación entre el sujeto que decidirá y los expertos en la materia.



En cualquier ambiente de toma de decisiones las metas, objetivos y criterios son utilizados para anunciar el estado de la situación en estudio. Cuando éste sea negativo para los fines de la organización, el proceso de tomar decisiones tendrá que iniciarse. Hay personas a quienes gusta considerar que las metas son más amplias en orientación que los objetivos, los cuales, a su vez, son menos específicos que los criterios.

No haremos tal distinción aquí, puesto que el criterio de una persona puede constituir la meta de otra. Utilizaremos el término criterio como algo que lo abarca todo y usaremos el término de las ciencias administrativas de "función objetivo". Todos éstos términos tienen el mismo propósito en la toma de decisiones, dictar criterios, dirigir o conducir el proceso de toma de decisiones.

Poseen criterio los individuos al igual que lo hacen las entidades organizadas, sean departamentos, compañías, hospitales o gobiernos municipales.

Por ejemplo: un médico tiene objetivos personales y profesionales tales como percibir un ingreso y adquirir experiencia, en tanto que el hospital en que trabaja tiene objetivos de cuidado de la salud, reputación, responsabilidad financiera, reducción de costos y demás. El alcalde de la ciudad de Bogotá como persona puede tener interés en obtener apoyo político y popularidad entre sus gobernados y superiores y como autoridad puede tener objetivos de proporcionar servicios a la comunidad, reducir la carga fiscal o proporcionar un ambiente sano para la niñez.

Formular el problema.

Traducir la necesidad percibida en la formulación explícita de una situación con problema y plantear las alternativas de solución.

Construir el modelo.

Diseñar una réplica matemática o representación del problema. (Por ejemplo: cajón de arena o sistemas de ecuaciones).

*Cálculo de los
requerimientos de
insumos*



Recolectar datos.

Serán los que utilice el modelo para reflejar las condiciones reales del problema.

Resolver el modelo.

Operar con los datos de entrada para obtener resultados.

Validar el modelo y hacer análisis para obtener resultados.

El análisis de sensibilidad (es decir modificar algunos factores para determinar los efectos sobre el problema global) cuantifica el error con el que pudieran contribuir por él los estimadores de los parámetros, antes de que la alternativa de decisión generada se seleccione como superior a las otras.

Probar el modelo para asegurarse de que sea válido y verificar los posibles resultados al alimentar el modelo con datos estimados.

Interpretar los resultados y las implicaciones.

Examinar ampliamente las soluciones del problema a la luz de los resultados del modelo.

Tomar la decisión.

Ponerla en práctica y controlar los requerimientos de cambios técnicos y del comportamiento de la solución a corto y a largo plazo.

Impacto de la I. O.

Su impacto en menos de cuarenta años de existencia como cambio formal de estudio ha sido notable. El análisis cuantitativo, social, militar, etc., ha proliferado y madurado. Los programas de estudio universitario, incluyendo la I. O., se imparten mediante seminarios sobre la materia en instituciones públicas y privadas. Existen en las grandes empresas departamentos especializados en esta materia. Hay también asesores que a ella se dedican y pueden asesorar a empresas no sólo grandes sino también medianas y pequeñas.

La investigación de operaciones no decide; la decisión es y será siempre de potestad del que manda; aquella le facilita su labor presentando una baraja de soluciones con diferentes condicionamientos; por eso se ha dicho que la investigación de operaciones es el Estado Mayor matemático del mando.

En las Fuerzas Armadas existe un gran cuerpo donde pueden y deben ser empleados en nuevas técnicas de I. O., tanto en la paz como en la guerra. Hoy, los modernos Ejércitos aplican sus métodos a la estrategia, a la táctica, al armamento y al material y a medida que éstos progresen se hace más necesaria su ayuda.

Es de todos conocido que los nuevos problemas planteados por la logística son de dimensiones sorprendentes, no sólo por el volumen de los mismos, sino también por la cantidad de factores a tener en cuenta para la solución, gracias a la I. O., y los computadores electrónicos, su resolución es factible.

En conclusión se debe pensar en montar equipos de investigación de operación que detecten, analicen y den soluciones óptimas a tantos problemas que se suscitan en nuestro medio tales como incorporación, raciones de campaña, tácticas antiguerrilleras urbana y rural, seguridad, estudios de armamento que impliquen costos mínimos, etc.

También deben estudiarse la posibilidad de implantar a la par con los de I. O., centros de investigación tecnológicos militares que le permitan a las Fuerzas Armadas diseñar y producir los elementos más esenciales y adecuados a nuestro medio. Para ello es necesario fundar facultades de Ingeniería Industrial, Mecánica, Diseño, Electrónica, Sistemas, etc., en las actuales aulas de la Universidad y enviar a ellas nuestros mejores oficiales para lograr tener unas Fuerzas Armadas suficientemente preparadas en los albores del siglo XXI y que le permitan al país, no dejar seguir agrandando en la misma proporción actual la enorme diferencia con el resto del mundo y en especial con nuestros vecinos.

A continuación transcribimos algunos problemas, (solamente con el enunciado) sacados de los libros de I. O., que son textos comunes en nuestras universidades.

1. Primer caso. Estrategia pura.

Un país azul prevé la posibilidad de ser atacado por un país rojo, sin que éste emplee inicialmente el arma nuclear.

Después de franquear la frontera, el enemigo debe atravesar una zona de terreno pantanoso de 30 kms., de profundidad, donde todo movimiento queda ligado a las

carreteras; a continuación, una llanura poco poblada, de igual profundidad, pero de suelo viable, y, por último las estribaciones de una cadena montañosa.

El Mando Azul ha previsto una maniobra consistente en detener al enemigo cuando alcance la zona montañosa, y por un ataque nuclear, disminuir al máximo su potencial ofensivo antes de que retroceda a la línea fronteriza.

2. Segundo caso. Estrategia mixta.

Dos Compañías pertenecientes a un Regimiento de Infantería (B. Azul) encargado de una misión de cobertura en situación defensiva, deben sobrevigilar dos sectores adyacentes:

- Sector A, la primera compañía.
- Sector B, la segunda compañía.

Esta vigilancia es susceptible de ejercerse durante varias noches consecutivas (fenómeno repetido).

Para facilitar esta misión, el Jefe de la Brigada destaca al Regimiento dos radares.

El Jefe del Regimiento ordena al Jefe de la Sección de Radares buscar los emplazamientos en las proximidades de las dos Compañías y estimar las probabilidades de detección del enemigo al infiltrarse por los sectores A y B.

Al efectuar el reconocimiento, el citado oficial estima las siguientes probabilidades para las dos posibles actuaciones (colocación del radar), según las dos actuaciones del enemigo (infiltración por uno u otro sector).

3. Problema de combinación de recursos: planteamiento.

La Fuerza Aérea recibe instrucciones de interrumpir la producción de tanques del enemigo. Este tiene cuatro plantas de gran importancia, localizadas en distintas ciudades, y la destrucción de cualquier planta detendrá definitivamente la producción de tanques. Una aguda escasez de combustible limita la provisión a 48.000 galones para esta misión. Cualquier bombardero enviado a determinada ciudad debe llevar cuando menos el combustible suficiente para el viaje redondo más una reserva de 100 galones.

El número de bombarderos a disposición del Comandante, así como sus descripciones, se presentan en la siguiente tabla:

TIPO DE BOMBARDERO	DESCRIPCION	MILLAS POR GALON	NUMERO DISPONIBLE
1	Pesado	2	48
2	Mediano	3	32

He aquí los datos sobre la localización de las fábricas y su vulnerabilidad al ataque de un bombardero mediano y uno pesado.

**Planta distancia de la base en millas
probabilidad de destrucción.**

		DESTRUCCION POR BOMBARDERO	
		PESADO (B1)	MEDIANO (B2)
1	450	0.10	0.08
2	480	0.20	0.16
3	540	0.15	0.12
4	600	0.25	0.20

4. a) El ejército A desea enviar por camión suministros a un puesto fronterizo en el cual se espera un ataque por parte del ejército B en unas cuantas horas. El depósito de suministros más cercano está unido al puesto fronterizo por dos caminos diferentes, uno que va a través del bosque y otro que va por llanos. Un convoy de suministros se mueve más rápido en la ruta del llano, pero se disimula mejor en la ruta del bosque. El convoy debe tomar una u otra ruta.

b) El ejército B espera que se envíen suministros a lo largo de una de las rutas y planea detenerlo con un ataque aéreo. Dispone de un solo escuadrón de aeroplanos que no puede dividirse. Si el ejército B envía sus aeroplanos por encima de la ruta del bosque y encuentra ahí al ejército A, el ejército B tendrá tiempo para realizar cuatro ataques en contra del convoy. Si el ejército B envía sus aeroplanos por encima de la ruta del llano y el ejército A está empleando esta ruta, el ejército B tendrá tiempo para tres ataques. Si el ejército B envía sus aeroplanos sobre la ruta equivocada, perderá tiempo valioso. Una vez que se dé cuenta de su error y localice al convoy en la otra ruta, el ejército B tendrá tiempo para dos ataques en la ruta del llano, pero sólo tendrá tiempo para un ataque en la ruta del bosque (debido a la dificultad adicional de localizar al convoy a través de los árboles). Determinense las estrategias óptimas para los dos ejércitos.

5. El Ejército azul y el ejército rojo están peleando por dos campos aéreos, valuados en 20 y 8 millones de dólares los cuales están bajo el control del ejército rojo. El ejército azul debe atacar a uno o a ambos aeropuertos y provocar un daño máximo (medido en dólares) a las instalaciones. La tarea del ejército rojo es minimizar este daño. A fin de lograr sus respectivos objetivos, cada ejército puede asignar el total de sus fuerzas a uno de sus dos campos aéreos o puede dividir su fuerza en partes iguales y cubrir ambos aeropuertos con capacidad reducida.

Una instalación experimentará un daño de 25% si se la ataca y defiende con la fuerza total pero sólo tendrá daños de 10% si se la ataca y defiende con la mitad de las fuerzas. Si una instalación es atacada con fuerza total, pero se la defiende sólo con la mitad de las fuerzas, experimentará un daño de 50%. Cualquier instalación que sea atacada con la mitad o la totalidad de las fuerzas, pero que no sea defendida, experimentará destrucción completa. Una instalación a la que no se

ataque o a la que se ataque con la mitad de las fuerzas, no experimentará daños. Determinéense las estrategias óptimas para ambos ejércitos.

6. Un gobierno ha dispuesto \$ 1.500 millones de su presupuesto general para fines militares. Sesenta por ciento del presupuesto militar se usará para comprar tanques, aviones y proyectiles. Estos pueden adquirirse a un costo por unidad de \$ 600.000, respectivamente. Se ha decidido que se deben adquirir al menos 200 tanques y 200 aviones. Debido a la escasez de pilotos experimentados, también se ha decidido no comprar más de 300 aviones. Por razones estratégicas, la proporción de proyectiles a aviones comprados debe estar en el rango de $1/4$ a $1/2$. El objetivo es maximizar la utilidad total de estas armas, en donde las utilidades individuales están dadas como 1, 3 y 2, respectivamente. Encontrar la solución óptima.

7. La presidenta de una compañía de una rama industrial altamente competitiva considera que un empleado de la compañía está proporcionando información confidencial a la competencia. Está 90% segura que este informante es el tesorero de la compañía, cuyos contados han sido extremadamente valiosos para obtener financiamiento para la compañía. Si lo despide y es el informante, la compañía gana \$ 100.000. Si lo despide y es el informante, la compañía pierde su experiencia y aún tiene a un informante en el equipo, con una pérdida para la compañía de \$ 500.000. Si ella no despide al tesorero, la compañía pierde \$ 300.000, sea o no el informante, ya que en ambos casos el informante continúa en la compañía.

Antes de decidir la suerte del tesorero, la presidenta podría ordenar pruebas con el detector de mentiras. Para evitar posibles demandas, estas pruebas tendrían que administrarse a todos los empleados de la compañía con un costo total de \$ 30.000. Otro problema es que las pruebas con detector de mentiras no son definitivas. Si una persona está mintiendo, la prueba lo revelará 90% de las veces; pero si una persona no está mintiendo, la prueba lo indicará sólo 70% de las veces. ¿Qué acciones deberá tomar la presidenta de la compañía?

8. En un aeropuerto de una sola pista, un promedio de un avión cada 5 minutos solicita permiso para aterrizar; aparentemente la distribución real es poissoniana. Los aeroplanos reciben permiso para aterrizar de acuerdo al orden de llegada, quedando en espera aquéllos a los que no se les puede dar permiso de inmediato debido al tráfico. El tiempo que toma al controlador de tráfico ayudar a que un aeroplano aterrice, varía de acuerdo con la experiencia del piloto; se distribuye exponencialmente, con una medida de 3 minutos. Determinéense: a) el número promedio de aeroplanos en espera; b) el número promedio de aeroplanos que han pedido permiso para aterrizar, pero que aún se encuentran en movimiento; c) la probabilidad de que un aeroplano que llega esté en tierra menos de 10 minutos, después de pedir por primera vez permiso para aterrizar, y d) la probabilidad de que haya más de tres aeroplanos esperando servicio.

9. Los contrabandistas de cigarrillos emplean dos rutas para sacar cigarrillos de Carolina del Norte: la carretera interestatal 95 o caminos secundarios. Ambas rutas son conocidas por la policía pero debido a limitaciones de personal sólo pueden

patrullar suficientemente una de estas rutas cada vez, hecho conocido por los contrabandistas.

La policía estima que la carga promedio de contrabando que se traslada por la interestatal 95, vale \$ 1.000 para los contrabandistas si logran llevarla a Nueva York. Los caminos secundarios limitan algo el tamaño de los vehículos, así que la carga promedio de contrabando que viaja por esas rutas vale sólo \$ 800 si llega a su destino. Cualquier contrabando descubierto por la policía se confisca y al contrabandista se le multa. La carretera interestatal 95 de un promedio de \$ 700 de pérdida para los contrabandistas; la pérdida por transportar la carga a través de caminos secundarios da un promedio de \$ 600. Además, la policía estima que cuando se patrulla la carretera interestatal 95, se intercepta sólo 40% del contrabando que se traslada por esta carretera y sólo 25% del tráfico que se traslada por los caminos secundarios, cuando patrullan ahí. Determínese una estrategia óptima de vigilancia para la policía, si su objetivo es minimizar las ganancias de los contrabandistas.

Se envía una misión aérea a bombardear una fábrica importante, que tiene forma rectangular con dimensiones 250 por 500 pies. Los aviones dejarán caer 10 bombas entre todos, desde gran altura, y todas tendrán como blanco el centro geométrico de la planta. Suponemos que la dirección de vuelo es paralela al largo del rectángulo, que la desviación del punto de impacto del blanco teórico es normal con media cero y desviación estándar de 200 pies en cada dimensión, y que estas dos desviaciones son variables aleatorias independientes. Utilice muestreo Monte Carlo para estimar el número esperado de impactos en la planta, y compare su resultado con el valor exacto.

BIBLIOGRAFIA

- MOSKOWITZ y WRIGHT. Investigación de operaciones. Editorial Prentice Hall. 1982.
- GALLAGHER y WATSON. Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en Administración. Editorial Mc Graw Hill. 1980.
- PRAWDA. Métodos y modelos de investigación de operaciones. Editorial Limusa. 1976.
- SHAMBLIN. Investigación de operaciones. Editorial Mc Graw Hill. 1974.
- TAHA. Investigación de operaciones. Editorial Representación y Servicios de Ingeniería S.A. México. 1981.
- SASIENI A. YASPAN. Investigación de Operaciones. Editorial Limusa, México. 1980.
- BAZA RAA MOCHTAR. Programación lineal y flujo en redes. Editorial Limusa, México. 1981.
- BRONSON RICHARD. (Serie Schaum) Investigación de Operaciones. Editorial Mc Graw Hill México. 1982.
- PRIMER PREMIO. "Estado Mayor Central 1973" Conde de Clonard T. C. de Artillería. Diplomado en Estado Mayor y en Investigación de Operaciones José Luis Prada F. Comandante de Artillería diplomado en Estado Mayor y en Investigación de Operaciones Antonio Sdanesl. Comandante de Ingenieros diplomado en Investigación de Operaciones. José Millán Mereree de la Vall. Comandante de Caballería diplomado en investigación operativa José Conde Sánchez. Comandante de Infantería diplomado en investigación operativa Jacinto Pérez G. Comandante Ingeniería de armamento diplomado en investigación operativa José A. Rodríguez R.
- CONJUNTOS Y MATRICES DE KLEIMAN.