



Investigación de operaciones

Modelos heurísticos y simulación

Autores: Miky G. Ortiz Ramírez y Paulo C. Olivares Taipe

© Derechos de autor registrados:

Empresa Editora Macro EIRL

© Derechos de edición, arte gráfico y diagramación reservados:

Empresa Editora Macro EIRL

Coordinación de edición:

Magaly Ramon Quiroz

Diseño de portada:

Fernando Cavassa Repetto

Corrección de estilo:

José Vásquez Espíritu

Diagramación:

Fernando Cavassa Repetto

Edición a cargo de:

© Empresa Editora Macro EIRL

Av. Paseo de la República N.° 5613, Miraflores, Lima, Perú

☎ Teléfono: (511) 748 0560

✉ E-mail: proyectoeditorial@editorialmacro.com

🌐 Página web: www.editorialmacro.com

Primera edición: Abril 2018

Tiraje: 1500 ejemplares

Impresión

Talleres gráficos de la Empresa Editora Macro EIRL

Jr. San Agustín N.° 612–624, Surquillo, Lima, Perú

Abril 2018

ISBN N.° 978-612-304-556-2

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.° 2018-04664

Prohibida la reproducción parcial o total, por cualquier medio o método, de este libro sin previa autorización de la Empresa Editora Macro EIRL.

Índice

Introducción13

1. MODELOS DE TRANSPORTES **15**

1.1 Problemas de transportes 16

1.2 Modelos de transportes. 16

1.3 Clasificación de los modelos de transporte 16

1.3.1 Modelos con soluciones básicas factibles (SBF)16

Casos I (no equilibrada, multas, maximización y transbordo)25

Casos II (no equilibrada, multas, maximización y transbordo)38

1.3.2 Modelos con solución óptima (MODI)56

1.4 Tecnología en los modelos de transporte 63

1.4.1 WinQSB64

1.4.2 Invop66

1.4.3 Tora68

Casos propuestos71

2. MODELOS DE ASIGNACIÓN **75**

2.1 Concepto y teorización 76

Caso 1: Dos médicos a dos ciudades.76

Caso 2: Tres médicos a tres ciudades77

2.2 Método húngaro 80

Caso 1: Conferencistas en universidades81

Caso 2: Efectividad de producción de técnicos (maximización)83

2.3 Tecnología en el modelo de asignación 86

2.3.1 Invop86

2.3.2 WinQSB88

Casos propuestos91

3. TEORÍA DE DECISIONES **93**

3.1 Conceptos 94

3.2 Clasificación de los modelos de decisión 95

3.2.1 Proceso de análisis jerárquico (AHP).95

3.2.2 Criterios de decisión.107

3.2.3 Teoría de juegos117

3.2.4 Árbol de decisiones 134



3.3 Tecnología en la teoría de decisiones	139
3.3.1 Criterio de decisión utilizando WinQSB	139
3.3.2 Árboles de decisión utilizando WinQSB	143
3.3.3 Teoría de juegos utilizando WinQSB	146
<i>Casos propuestos</i>	148
4. MODELOS DE SECUENCIACIÓN	155
4.1 Representación gráfica	156
4.1.1 Diagrama de Gantt	156
4.2 Algoritmos de secuenciación para un conjunto de actividades	159
4.2.1 Con orden establecido	160
4.2.2 Con especificaciones de orden	183
4.3 Tecnología en la secuenciación	184
<i>Casos propuestos</i>	186
5. REDES DE OPTIMIZACIÓN	189
5.1 CPM	190
5.1.1 Conceptos y teorización	190
5.1.2 Casos con tiempo en nodo y flecha	196
5.1.3 CPM con costos	204
5.2 PERT	213
5.2.1 Conceptos y técnicas	213
5.2.2 Ejercicio con descripción de procesos	214
5.2.3 PERT con costos	216
5.3. Teoría de grafos	220
5.3.1 Origen y nociones esenciales	220
5.3.2 Clasificación de grafos	225
5.3.3 Operaciones con grafos	227
5.3.4 Representación de un grafo	228
5.3.5 Árboles	229
5.3.6 Algoritmos de aplicación a las redes	230
5.4 Tecnología en las redes de optimización	256
5.4.1 CPM con WinQSB	257
5.4.2 PERT con WinQSB	259
5.4.3 PERT con Microsoft Project	261
5.4.4 Ruta más corta Dijkstra - WinQSB	263
<i>Casos propuestos</i>	265
6. PROGRAMACIÓN DINÁMICA	273
6.1 Concepto, elementos y función de rendimiento	274
6.1.1 Concepto	274
6.1.2 Elementos	274
6.1.3 Función de rendimiento	274
6.2 Caso secuencial: ruta más corta	274



6.3 Modelo de inventario	279
6.4 Modelos de reemplazo de equipos o máquinas	283
6.5 Modelo de la mochila o carga	287
<i>Casos propuestos</i>	294
7. MODELOS DE INVENTARIOS	295
7.1 Conceptos generales	296
7.2 Cantidad económica de pedido (EOQ)	298
7.2.1 EOQ sin déficit	298
7.2.2 EOQ con déficit	300
7.3 Lote económico de producción (LEP)	302
7.3.1 LEP sin déficit	302
7.3.2 LEP con déficit	304
7.4 Tecnología en los modelos de inventarios	307
7.4.1 Inventarios en WinQSB	307
<i>Casos propuestos</i>	309
8. CADENAS DE MÁRKOV	311
8.1 Generalidades	312
8.2 Matriz de transición de un paso	313
8.3 Aplicando WinQSB	317
<i>Casos propuestos</i>	320
9. TEORÍA DE COLAS O LÍNEAS DE ESPERA	323
9.1 Conceptos y teorización	324
9.1.1 Proceso básico de colas	324
9.1.2 Notación de Kendall	326
9.1.3 Función económica de los modelos de colas	327
9.2 Modelos de colas	327
9.2.1 Modelo I: M/M/1 FIFO/ ∞ / ∞	328
9.2.2 Modelo II: M/M/S FIFO/ ∞ / ∞	330
9.2.3 Modelo III: M/M/1 FIFO/ K / ∞	332
9.2.4 Modelo IV: M/M/S FIFO/K / ∞	334
9.2.5 Modelo V: M/D/1 FIFO/ ∞ / ∞	336
9.2.6 Modelo VI: M/G/1 FIFO/ ∞ / ∞	337
9.2.7 Modelo VII: M/E _k /1 FIFO/ ∞ / ∞	338
9.3 Tecnología en la teoría de colas o líneas de espera	339
9.3.1 Teoría de colas con <i>software online</i>	339
9.3.2 Teoría de colas con <i>software</i> WinQSB	340
<i>Casos propuestos</i>	342

**10. SIMULACIÓN****345**

10.1 Generalidades	346
10.1.1 Definiciones	346
10.1.2 Elementos importantes para una simulación	347
10.1.3 Aplicación de la simulación	348
10.1.4 Ventajas y desventajas de la simulación	348
10.1.5 Fases de un proyecto de simulación	350
10.2 Generación de números pseudoaleatorios	350
10.2.1 Algoritmo de cuadrados medios	351
10.2.2 Algoritmo de productos medios	352
10.2.3 Algoritmo del multiplicador constante	352
10.2.4 Algoritmo lineal	353
10.2.5 Algoritmo congruencial multiplicativo	353
10.3 Pruebas estadísticas	355
10.3.1 Prueba de medias	355
10.3.2 Prueba de varianza	356
10.3.3 Prueba de uniformidad	357
10.3.4 Prueba de independencia	358
10.4 Simulación Montecarlo	359
10.4.1 Simulación de eventos discretos	359
10.4.2 Simulación de eventos empíricos continuos	362
10.5 Tecnología en la simulación	363
10.5.1 Simulación con Arena	363
<i>Casos propuestos</i>	379
Referencias bibliográficas	383

1

Modelos de transportes

EN ESTE CAPÍTULO:

- 1.1 Problemas de transporte
 - 1.2 Modelos de transporte
 - 1.3 Clasificación de los modelos de transporte
 - 1.4 Tecnología en los modelos de transporte
- Casos propuestos



1.1 Problemas de transportes

Las empresas y organizaciones que hoy están en el rubro de transportes cuentan con una gran cantidad de áreas y factores, los cuales siempre deben considerarse para resolver los distintos problemas que les aquejan y que, una vez presentados, pueden aprovecharse para el mejoramiento continuo.

Por ello, se empezará por uno de los problemas más resaltantes, sino el más importante, y la razón de la existencia inicial de los problemas de transporte como lo habrían pensado sus creadores. Se abordará primero sobre la asignación y el traslado cuantitativo de los recursos, desde los puntos de origen (oferta o almacenes) hasta los puntos de destino (demanda o ciudades), donde se buscará, durante el desarrollo de los mismos, la minimización de los costos inicialmente.

1.2 Modelos de transportes

Los problemas en el rubro de los transportes, como en muchos otros rubros, tienen formas, métodos y modelos que brindan soluciones. De esta forma, es seguro que, en el quehacer empírico, se encontrará con tales problemas, los que en su mayoría llegarán a soluciones básicas y otras quizás a óptimas, pero casi todas inmediatas, lo que hace imposible medir el nivel de efectividad que es necesario tener como mínimo de eficiencia (óptima en su tiempo) y eficacia (culminada a tiempo).

La investigación de operaciones, como en tantos problemas cruciales en las organizaciones y sistemas, ha generado modelos matemáticos para solucionar los problemas de transporte. Uno de ellos, es el modelo determinista. Este brinda muy buenas soluciones, pero hay que tener en cuenta que la complejidad no debe ser un límite para la búsqueda de la calidad. Además, debe considerarse que con el tiempo se encontrará el modelo ideal a presentar.

1.3 Clasificación de los modelos de transporte

Una vez listos para emprender nuevos caminos de solución, según los modelos que cuentan con optimización temporal, se pasarán a clasificarlos. De esta manera, se tienen a) modelos con soluciones básicas factibles y b) modelos con solución óptima.

Ahora bien, partiendo de la idea de que aquellos modelos que hoy se presentan como óptimos, son solo básicos factibles, se pasará a desarrollarlos.

1.3.1 Modelos con soluciones básicas factibles (SBF)

A. Esquina noroeste (NO)

Este modelo determina una SBF mediante un proceso sencillo y eficaz. Consta de tres puntos:

1. El desarrollo de la organización de las ofertas y demandas con los costos específicos de cada origen a cada uno de los destinos, distribuidos en una tabla bidimensional de la siguiente manera: