

2008-12-01

## Optimización de diseño de rutas de vehículos usando algoritmos genéticos

Fredy Alejandro Martínez Álvarez

*Universidad de La Salle, Bogotá*, [fmartineza@unisalle.edu.co](mailto:fmartineza@unisalle.edu.co)

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ep>

---

### Citación recomendada

Martínez Álvarez, Fredy Alejandro (2008) "Optimización de diseño de rutas de vehículos usando algoritmos genéticos," *Épsilon*: Iss. 11 , Article 3.

Disponible en:

This Artículos de investigación is brought to you for free and open access by the Revistas descontinuadas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Épsilon by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

# Optimización de diseño de rutas de vehículos usando algoritmos genéticos

Fredy Alejandro Martínez Álvarez\*

Fecha de envío: 19 de octubre de 2007.  
Fecha de aceptación: 23 de marzo de 2008.

## RESUMEN

El objeto de presente estudio es el diseño de rutas de distribución de un producto dentro de la red, seleccionando la secuencia de visitas y aplicando restricciones de capacidad de volumen de carga y distancia máxima por recorrido, minimizando los costos de distribución.

Dentro de los modelos existentes para solucionar este problema se encuentran los algoritmos de Clarke y Wright, el método del ahorro y los modelos de transporte basados en las teorías de programación lineal y entera, los cuales se desempeñan de manera óptima y eficiente en una cantidad reducida de centros de consumo. La eficiencia de estos algoritmos decrece conforme se aumenta el número de centros de consumo, debido a que el espacio de soluciones aumenta exponencialmente, convirtiendo el problema de ruteo en un problema de tipo NP-Completo.

En el artículo se propone un método de solución meta heurística, por medio de la aplicación de algoritmos genéticos en un problema compuesto por un centro de distribución y ocho diferentes centros de consumo, donde las medidas de desempeño establecidas son costo, distancia y volumen (carga).

Aplicando el modelo, los resultados muestran la consecución de una buena solución en un tiempo de búsqueda polinomial, las cuales fueron evaluadas con diferentes medidas de desempeño principalmente por los costos asociados a la distribución del producto en la red de distribución.

**Palabras clave:** ruteo de vehículos, algoritmos genéticos, logística de distribución.

\* Profesor Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de La Salle. Correo electrónico: fmartineza@unisalle.edu.co

## DESIGN OPTIMIZATION OF ROUTES OF VEHICLES USING GENETIC ALGORITHMS

### ABSTRACT

The object of the present research is design of paths of distribution of a product within the delivery network, selecting the sequence of visits and applying to restrictions of capacity of load volume and maximum distance by path, diminishing the distribution costs.

Within the existing models to solve this problem are the algorithms of Clarke and Wrieth, the method of the saving and the models of transport based on the theories of linear integer programming, which evolve of optimal and efficient way in a reduced amount of consumption centers. The efficiency of these algorithms decreases as is increased the number of consumption centers, because the space of solutions increases exponentially, turning the path problem on a problem of NP-Complete type.

In the article a solution using a heuristic method is proposed, by means of the application of genetic algorithms in a problem made up of a center of distribution and eight different centers from consumption, where the established measures of performance are cost, distance and volume (load).

Applying the model, the results show the achievement of a good solution in a polynomial time search, which were evaluated with different measures from performance mainly for the associate cost to product distribution in the distribution network.

**Key Words:** Vehicle Router, Genetic Algorithms, Distribution Logistic.

## INTRODUCCIÓN

Es común en el medio empresarial moderno la distribución de productos o servicios donde el cliente final los requiera, esto con el fin de proporcionarle a éste la mayor satisfacción y, de esta forma, asegurar su predilección sobre otras empresas con productos similares. Para las empresas y, en especial, para los gerentes y directores de logística, es de vital importancia en la consecución de las metas la satisfacción del cliente final, y una de las variables importantes es la distribución de productos desde la fábrica y/o operador logístico a los diferentes centros de consumo.

El presente trabajo plantea un algoritmo meta heurístico de combinación para determinar el orden en que se visita a cada centro de consumo, con el fin de satisfacer la demanda de productos de éste, creando de esta forma una secuencia de ruteo.

Posteriormente, aplicando la restricción de un recorrido máximo por ruta y volumen de carga de los vehículos, se forman diferentes rutas en las cuales el nodo de origen y el nodo de destino es el Operador Logístico.

Las diferentes rutas generadas tienen como medida de desempeño los costos fijos y variables asociados a la distancia recorrida, la parte sobrante de cada ruta y el volumen no utilizado del medio de transporte por ruta, en el cual en todos casos se busca el mínimo posible o la menor relación de estos.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los costos cargados al producto final de toda empresa son los costos asociados a la distribución del producto hasta los centros de consumo final. El hecho de minimizar los costos de distribución representa una disminución en el precio final del producto, conservando las características de calidad, lo cual tiene impacto positivo directo en las ventas del mismo.

Por lo anterior, el diseñar las rutas de distribución se convierte en un objetivo primordial para la dirección logística de cualquier empresa, más aún en el mercado globalizado de los últimos años.

## PROBLEMA DE DISEÑO DE RUTAS DE VEHÍCULOS

Este problema involucra a una fábrica u operador logístico y un conjunto de clientes o centros de consumo, los cuales deben ser surtidos de un producto. Consiste en diseñar por parte del operador logístico una secuencia de rutas de sus vehículos de distribución, que represente el mínimo costo posible cumpliendo determinadas restricciones, entre las cuales se tiene un máximo recorrido por ruta y no exceder la capacidad máxima de carga del vehículo. Con el fin de surtir el producto a todos los clientes y, finalmente, volver al lugar de origen. Los centros de consumo sólo pueden ser visitados por un único vehículo y la cantidad de medios de transporte por tipo es ilimitada.

Para el diseño de rutas de distribución existen los modelos convencionales basados en el uso de las teorías de programación lineal y programación entera (Winston, 2005), los cuales convergen rápidamente con un número reducido de puntos de distribución; sin embargo, su eficiencia es inversamente proporcional con cada punto de distribución que se incluya en el modelo.

Para el problema de ruteo, el espacio de soluciones aumenta exponencialmente con cada centro de consumo o cliente agregado al sistema, lo cual lo convierte en un tipo de problema NP-Completo, esto es, con un tiempo de procesamiento No Polinomial (Martínez y Rojas, 1999), por tanto, es necesario utilizar otros métodos de solución no determinísticos.

El método de solución propuesto en el presente trabajo se basa en el uso de simulación genética (Cerro-laza y Annicchiarico, 1996), la cual permite hallar aleatoriamente soluciones factibles en un espacio de búsqueda determinado.

## BASES TEÓRICAS

### ALGORITMOS GENÉTICOS

Los algoritmos genéticos son métodos matemáticos de búsqueda de soluciones cuya esencia se enmarca en la teoría de la evolución, en los principios de la genética, esto es, los mecanismos de selección natural y de supervivencia del más apto.

Según Cerrolaza y Annicchiarico (1996), los principios más aceptados por los biólogos referentes a los mecanismos que guían la evolución son:

- Los procesos de evolución operan sobre los cromosomas, elementos orgánicos que codifican estructuras.
- El proceso de selección natural es el que permite que los cromosomas más aptos se reproduzcan con una probabilidad mayor que los que no lo son.
- El proceso de reproducción ocurre cuando la evolución toma lugar, bien sea por cruce (cromosomas de padres e hijos) o por mutación.

Para resolver el problema de ruteo de vehículos de distribución por medio de algoritmos genéticos, se debe definir lo siguiente (Cerrolaza y Annicchiarico, 1996):

- Diseñar una representación cromosomal codificada de la solución.
- La forma de creación de la población inicial.
- Una función de mérito, evaluación o aptitud.
- Los operadores genéticos y su forma de aplicación.

### ALGORITMO DE CLARKE Y WRIGTH (1963)

El algoritmo propuesto está basado en el algoritmo de Clarke y Wriht (1963), en el cual se determinan las distancias entre los diferentes centros de consumo y

distribución. Partiendo de este punto se construyen rutas factibles de secuencia de visitas por medio del método de ensayo y error. La determinación de las distancias se calcula utilizando el principio de Pitágoras, bajo las coordenadas de ubicación en un plano cartesiano.

Luego de determinar las distancias se procede a la construcción de las rutas por medio del método de ensayo y error, teniendo en cuenta la restricción del recorrido máximo por ruta y seleccionando la mejor de acuerdo con las medidas de desempeño seleccionadas.

## MODELO - APLICACIÓN Y RESULTADOS

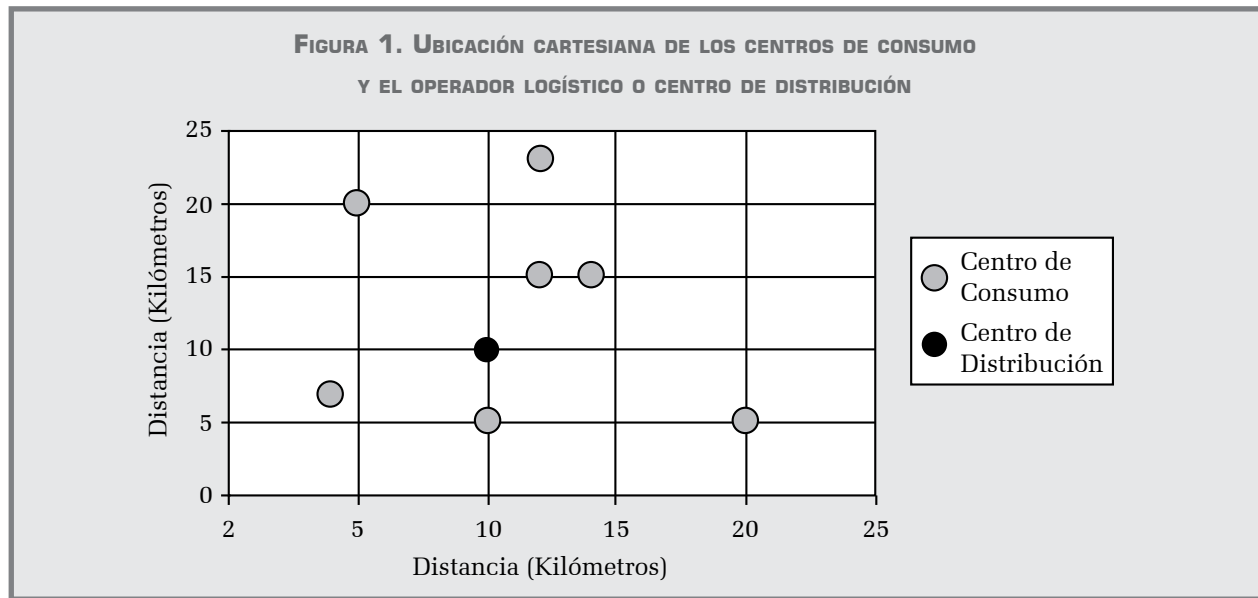
### ESPECIFICACIONES DEL PROBLEMA PROPUESTO

A continuación se presenta el algoritmo de búsqueda combinatoria de rutas, en el cual se requiere el diseño de rutas de distribución de un producto desde un operador logístico a ocho centros diferentes de consumo.

Las diferentes ubicaciones de cada uno de los centros de consumo y el operador logístico se determinan mediante coordenadas cartesianas de la Tabla 1.

**TABLA 1. PUNTOS DE DISTRIBUCIÓN**

Cliente	Coordenadas (km)		Demanda (und)
	i	j	
2	20	5	200
3	14	15	300
4	12	15	250
5	10	5	180
6	4	7	230
7	5	20	70
8	15	10	120
9	12	23	210
1 (OL)	10	10	-----



El recorrido máximo permitido por ruta y el costo por unidad recorrida se muestran en la Tabla 2.

**TABLA 2. DATOS DE ENTRADA**

Recorrido Máximo por Ruta	40 km
Costo por Unidad Recorrida	2000 um*

\* Unidad monetaria.

La capacidad de carga y los costos fijos asociados a la utilización de cada medio de transporte, se muestran en la Tabla 3.

**TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSPORTE**

Medios de transporte disponibles	Capacidad (unidades)	Costo Fijo (um)
MT1	500	30.000
MT2	1000	40.000
MT3	2000	50.000

### CODIFICACIÓN DEL CROMOSOMA SOLUCIÓN

El cromosoma solución está compuesto por dos genes. El primer gen contiene ocho alelos los cuales

representan los centros de consumo que se deben surtir. La ubicación del alelo dentro del gen determina el orden en que se visita cada centro de consumo. Este se muestra en la Figura 2.

**FIGURA 2. REPRESENTACIÓN GRÁFICA GEN SECUENCIA DE VISITA**

2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---

El segundo gen representa el tipo de vehículo a utilizar, seleccionado entre tres opciones disponibles. Su ubicación en la secuencia determina el tipo de vehículo utilizado en cada ruta que se construya.

**FIGURA 3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA GEN TIPO DE VEHÍCULO**

1	2	2	3	1	3	1	2
---	---	---	---	---	---	---	---

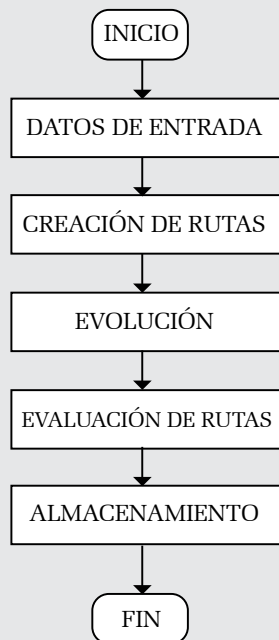
**FIGURA 4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL CROMOSOMA SOLUCIÓN**

2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	2	3	1	3	1	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

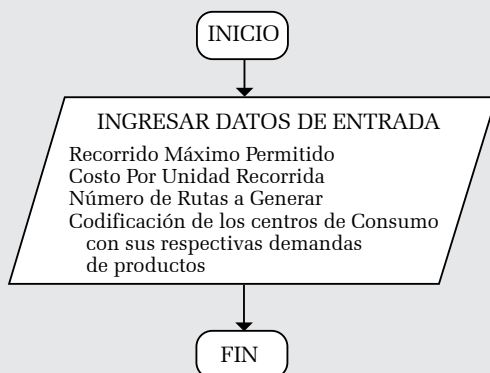
## DISEÑO DEL ALGORITMO GENÉTICO

El algoritmo propuesto determina una gama de soluciones factibles al problema de ruteo de vehículos, lo anterior se hace mediante la búsqueda aleatoria de rutas y determinando las medidas de desempeño de cada una, para lo cual tiene en cuenta las variables de costo total de la ruta, recorrido máximo permitido por ruta y la capacidad de cada vehículo programado. Las figuras 5 a 9 presentan los diagramas de flujo de los algoritmos propuestos.

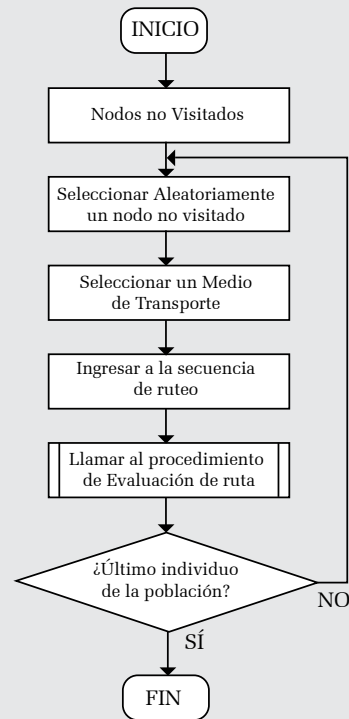
**FIGURA 5. ALGORITMO BASE**



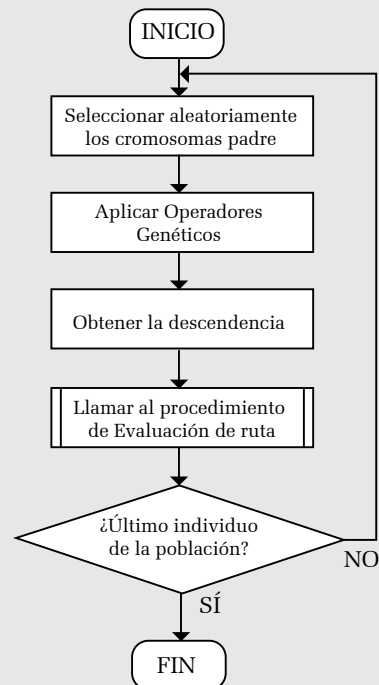
**FIGURA 6. ALGORITMO DE INGRESO DE DATOS**



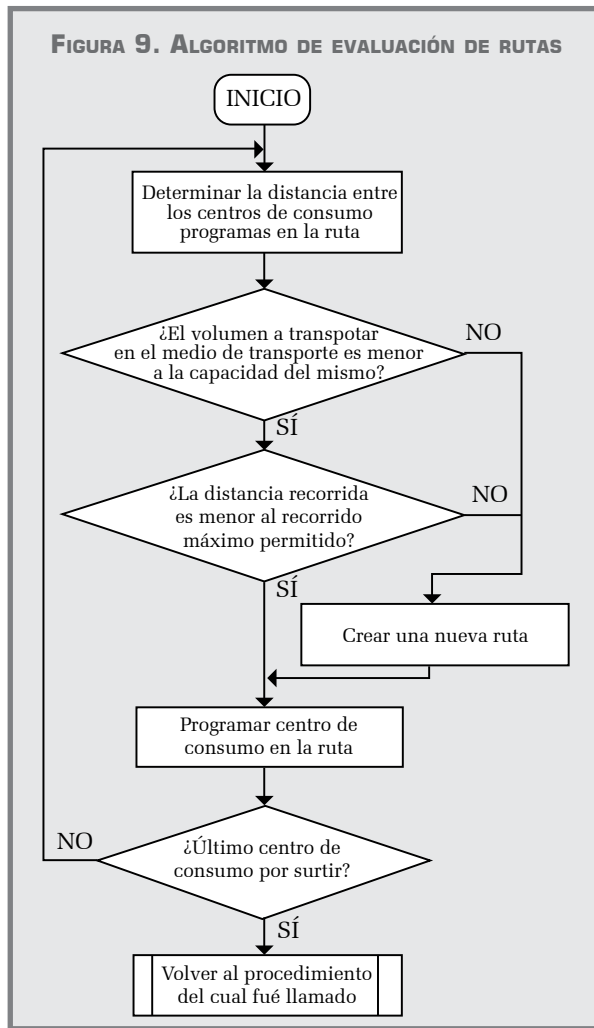
**FIGURA 7. ALGORITMO DE CREACIÓN DE RUTAS**



**FIGURA 8. ALGORITMO DE EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN**



**FIGURA 9. ALGORITMO DE EVALUACIÓN DE RUTAS**



## RESULTADOS

El espacio de soluciones posible es proporcional al número de centros de consumo a visitar junto con el operador logístico. Para el ejercicio propuesto, el espacio de soluciones factibles es aproximadamente de 387,5 millones, lo cual representa un problema NP-Completo, debido al alto número de combinaciones

posibles y a su aumento de carácter exponencial con cada centro de consumo que se agregue.

Se calculó los costos totales (fijos y variables) asociados al diseño de cada ruta por medio de la ecuación 1.

$$CTR_i = \sum_{j=1}^n CFMTU_j + \sum_{j=1}^n DRR_i * CUR \quad (1)$$

CTR<sub>i</sub>: Costo Total de la Ruta i

CFMTU<sub>j</sub>: Costo Fijo por Medio de Transporte j Utilizado

DRR<sub>i</sub>: Distancia Recorrida por la Ruta i

CUR: Costo por Unidad Recorrida

De igual forma, las restricciones aplicables se calcularon de acuerdo con las ecuaciones 2 y 3.

$$DRR_i \leq RMPR \quad (2)$$

$$VCDR_i \leq CMMT_j \quad (3)$$

RMPR: Recorrido Máximo Permitido por Ruta

VCDR<sub>i</sub>: Volumen de Carga Demandada por la Ruta i

CMMT<sub>j</sub>: Capacidad Máxima del Medio de Transporte j

Se ejecutó el algoritmo propuesto en un programa desarrollado en Visual Basic, para el cual se generó una población inicial de 100 cromosomas solución y evolucionó durante 100 generaciones.

La mejor combinación (cromosoma con mayor grado de aptitud) encontrado y la reducción de costos a través de la evolución de la población se puede ver en la Tabla 4 y la Figura 10 respectivamente.

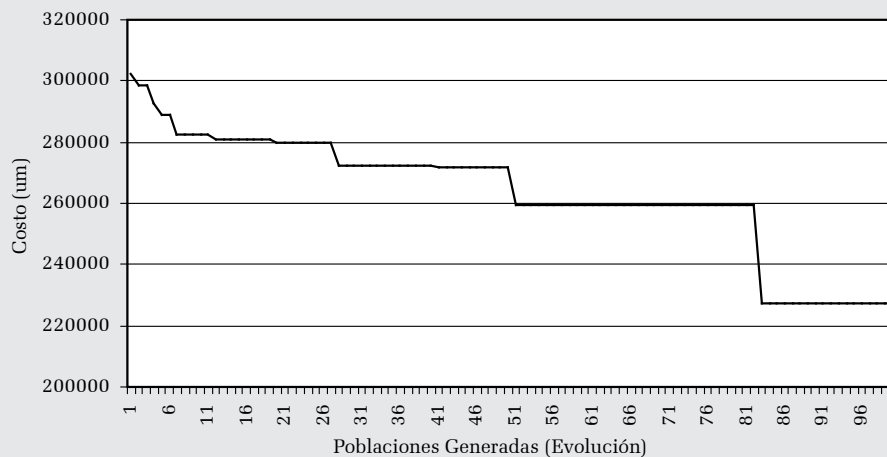


**TABLA 4. RESULTADOS**

Secuencia Cromosoma Solución	6528437922132312		
Rutas	Ruta	Medio de Transporte	Centros de Consumo
	1	2	6528
	2	2	4379
Costo	227.120 um		
Distancia No Recorrida	6,44 Km		
Capacidad No Utilizada	270 Unidades		

**FIGURA 10. MINIMIZACIÓN DE COSTOS DE DISTRIBUCIÓN A TRAVÉS DE LA EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN**

RESULTADOS DEL ALGORITMO GENÉTICO APLICADO AL PROBLEMA DE DISEÑO DE RUTAS DE VEHÍCULOS



## CONCLUSIONES

Para el problema de ruteo planteado se demostró que el uso de algoritmos genéticos es una herramienta eficiente en la búsqueda de buenas soluciones a los problemas de optimización combinatoria, debido a que esta opera de forma no secuencial y en amplios espacios de búsqueda, esto basado en el principio de supervivencia de los individuos más aptos que construyen estructuras más exitosas.

Los cálculos se realizaron para una población inicial de 100 individuos y evolucionaron durante 100

generaciones, para las cuales demostró una eficiencia del 15.43% con respecto a el método del ahorro (Haksever, 2000), debido a el carácter exploratorio - estocástico de búsqueda del algoritmo.

El método de solución del algoritmo genético al problema de diseño de rutas de vehículos, podría mejorar su eficiencia si es acompañado por un post-proceso con un modelo de algoritmo de búsqueda local, en el cual su objetivo es encontrar un punto óptimo dentro de la región adyacente a la mejor solución encontrada por el algoritmo genético, mejorando así su eficiencia global.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cerralzoa, M y Annicchiarico, W. *Algoritmos de optimización estructural basados en simulación genética*. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1996.
- Clarke G. y Wright, J. "Scheduling of vehicles from a central depot to number of delivery points". *Operational Research Quarterly* 27. 2. (1963): 503-511.
- Haksever C., B. Render, R. Russell y Murdick, R. *Service management and Operations*. (2 ed.). PAIS: Prentice Hall, 2000.
- Martínez, J. y Rojas, S. *Introducción a la informática evolutiva*. Santafé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1999.
- Winston, W. *Operations Research, Applications and Algorithms*. (4 ed.). PAIS: Thomson, 2005.