



MODELADO Y GENERACIÓN DE PATRONES DE TRÁFICO PARA SIMULACIONES DE CONTROL DE SEMÁFOROS.¹

KRUJOSKI, Matías Gabriel; LINDER, Germán Gabriel; KOLODZIEJ, Javier Ernesto; GARASSINO, Sergio Alberto

¹Trabajo de Investigación

Resumen

En numerosos municipios de la Provincia de Misiones existen trazados vehiculares urbanos con una sola vía de circulación rápida interceptada por varias vías secundarias de circulación lenta. Dicha topología genera complicaciones en la circulación fluida del tránsito y afecta la seguridad vial. Como alternativa de solución a éstos inconvenientes, típicamente se instalan sistemas de semáforos con secuencia de temporización fija. Si bien estos pueden ordenar la circulación vehicular, tienen el potencial de causar embotellamientos y retrasos en la vía rápida ante condiciones de tráfico cambiantes. En el marco del proyecto de investigación, se propone un sistema de control adaptativo de semáforos como alternativa para mejorar la eficiencia y fluidez del tráfico en las intersecciones complejas. Como parte del proceso de diseño del controlador adaptativo propuesto, se requieren hacer simulaciones de tráfico. Bajo éste lineamiento fue necesario recopilar un modelo matemático que describa el arribo de vehículos a una intersección de calles con semáforos, y producir un algoritmo que genere “colas de vehículos” para las simulaciones. En el presente trabajo se exponen las características del modelo matemático utilizado y su implementación computacional en un lenguaje de programación de alto nivel; que ha permitido al equipo de investigación producir los escenarios de simulación con diversos patrones de tráfico.

Palabras Clave:

modelo de tráfico – colas de vehículos – control de semáforos

Introducción

En la Provincia de Misiones, al igual que en toda la República Argentina, en los últimos años se ha experimentado un marcado crecimiento del parque automotor [1]. Por factores culturales, el tráfico en la mayoría de los municipios misioneros presenta una gran variabilidad a lo largo del día y en diferentes épocas del año; esto también se ve influenciado por la actividad turística y el transporte de productos agrícolas estacionales. Además, muchas de las intersecciones de calles se dan entre vías principales y vías secundarias, donde se considera que la prioridad de paso de los vehículos es asimétrica. El notable incremento de la cantidad de vehículos en circulación,



combinado con la particular distribución urbana y las condiciones de tráfico cambiante causan problemas de fluidez del tráfico, perjudican al medioambiente y afectan la seguridad de conductores y peatones [2]. En este contexto, el proyecto de investigación propone el desarrollo de un sistema de semáforo adaptativo para intersecciones con prioridad asimétrica, como una solución que permite optimizar la circulación vehicular [3].

En el marco de éste proyecto de investigación, dentro de la fase de diseño del controlador adaptativo de tráfico se requiere validar su funcionamiento a través de simulaciones computarizadas. Para la validación de la estrategia de control adaptativo se escogió el tiempo de espera promedio de los vehículos en transponer la intersección como un indicador de la eficiencia del semáforo [4]. De modo que, se ha diseñado un algoritmo de simulación que permite mensurar dicho indicador para diversos escenarios de tráfico bajo la acción de las estrategias de control adaptativo y control con secuencia fija.

El presente trabajo expone una descripción del modelo matemático de tráfico utilizado y su implementación como algoritmo recursivo en un lenguaje de alto nivel para generar colas de vehículos que arriban a una intersección de calles.

Metodología

El control autónomo del tráfico en las intersecciones de calles se hace a través de los semáforos; la secuencia y duración del encendido de las luces de los mismos define el comportamiento que tendrá el tráfico en la intersección. En el desarrollo del proyecto de investigación se ha adoptado una intersección como referencia, presentada en la Figura 1, donde se considera que los vehículos de la vía principal (con sus carriles izquierdo y derecho) tienen mayor prioridad de paso que los vehículos de la vía lateral.

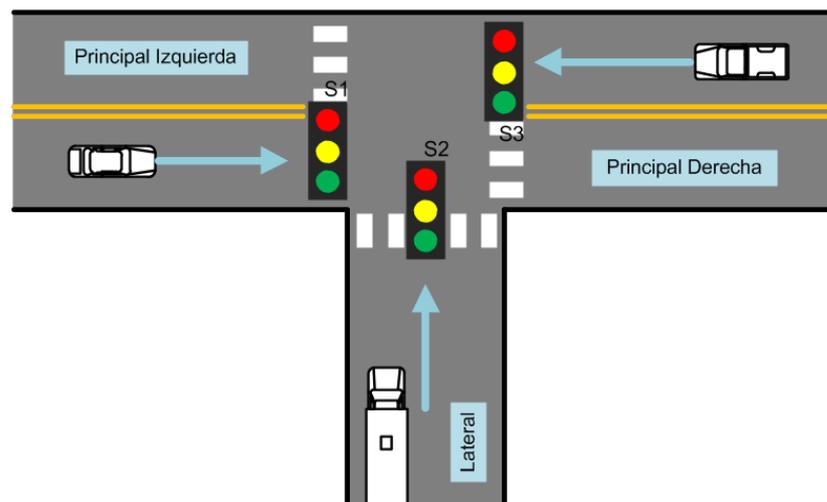




Figura 1: Intersección semaforizada de referencia

A los efectos de evaluar el desempeño del tráfico en la intersección de referencia bajo el accionar del semáforo, se ha diseñado el esquema de simulación presentado en la Figura 2. En rasgos generales, este algoritmo de simulación computa el promedio del tiempo de espera para los vehículos que transponen la intersección semaforizada. Con el objeto de establecer la comparación que permita validar el diseño del controlador adaptativo propuesto, el algoritmo puede ejecutar la simulación del tráfico tanto para un controlador de semáforos de secuencia fija como adaptativa. En tanto que la entrada de datos que requiere el algoritmo de simulación corresponde a la “cola de vehículos” que arriban por cada una de las vías confluyentes, es decir el escenario de tráfico sobre el que se evalúa el semáforo.

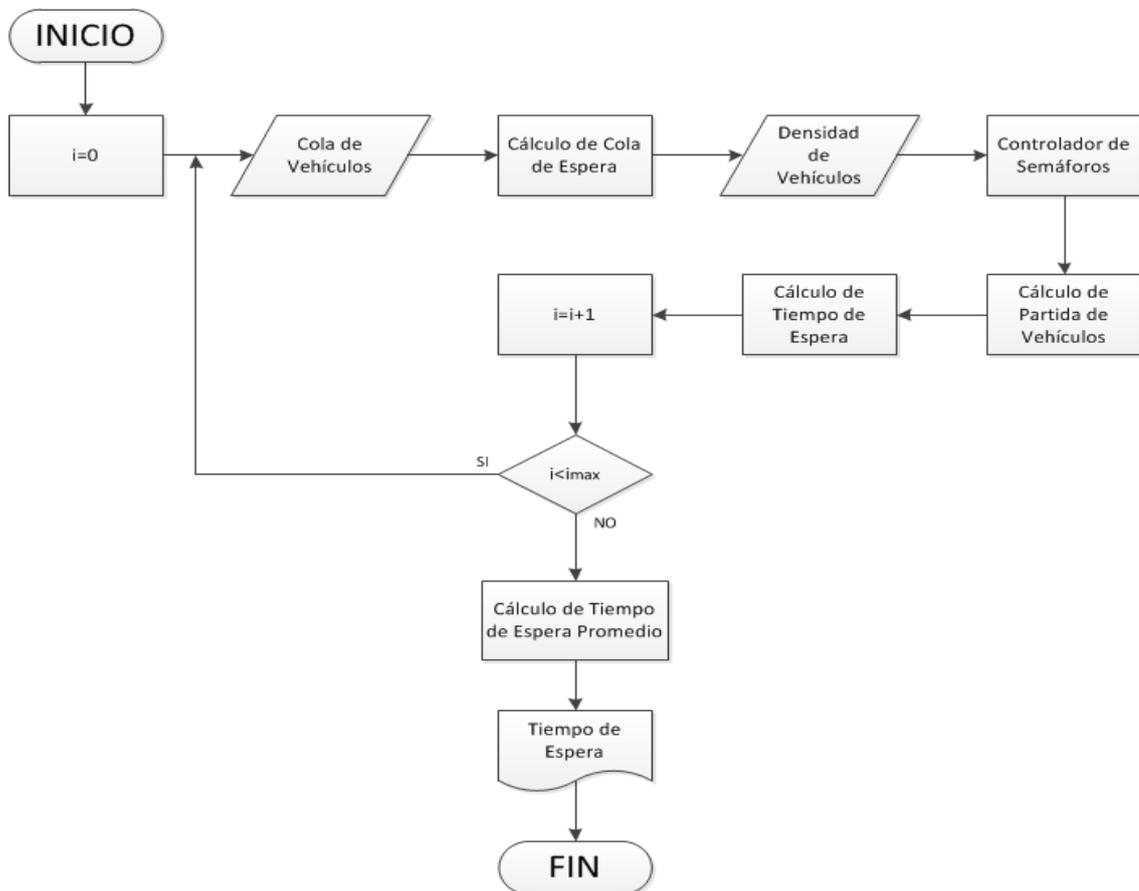


Figura 2: Algoritmo de simulación de tráfico en intersección semaforizada

La cantidad de vehículos que pasan a través de un punto de estudio en un período de tiempo de



observación puede describirse estadísticamente por una distribución discreta de probabilidad de Poisson [5], con una forma matemática como la exhibida en la ecuación 1.

$$P(n, \lambda) = \begin{cases} \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^n}{n!} & n = 0, 1, 2, \dots, \infty \\ 0 & \text{otro lugar} \end{cases} \quad 1$$

Donde λ es el valor medio de la cantidad de vehículos en un intervalo de tiempo de observación y n es una cantidad concreta de vehículos. De modo que la ecuación 1 permite conocer la probabilidad de que en un instante dado arriben una cantidad n de vehículos en un punto de observación donde estadísticamente el valor esperado es λ . En forma gráfica, esto resulta como en la Figura 3, donde a efectos ilustrativos se adoptó $\lambda=5$.

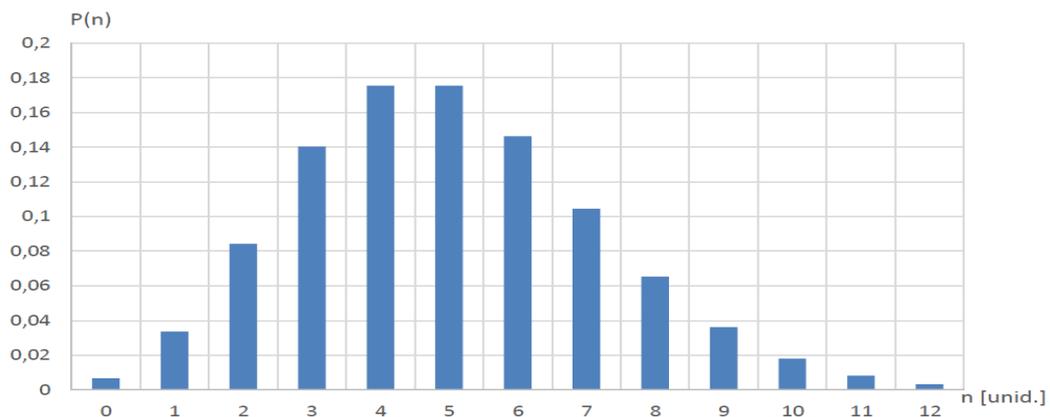


Figura 3: Distribución de probabilidad de Poisson ($\lambda=5$)

A lo largo de un período de tiempo extenso, donde pueden incluirse varios periodos menores de observación, por ejemplo, un día entero (24hs) sub-dividido en ventanas de observación de una hora puede apreciarse que el valor esperado de cantidad de vehículos (λ) en cada ventana de observación sufre una variación que refleja el cambio de las condiciones del tráfico. En la Figura 4 puede apreciarse en forma ilustrativa una forma posible de evolución del valor esperado (λ) a lo largo de todo un día.

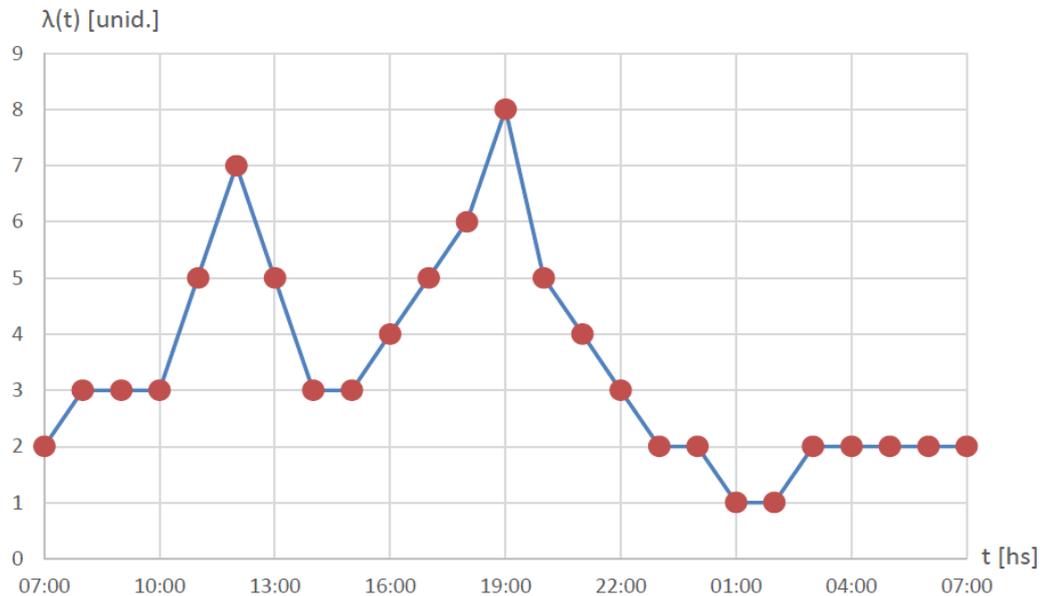


Figura 4: Evolución ilustrativa del valor medio (?) de arribo de vehículos en un punto de observación a lo largo de un día

En tanto que la velocidad con la que cada vehículo traspasa el punto de observación, puede ser descripta estadísticamente como una distribución uniforme entre las velocidades mínima y máxima de circulación en la vía analizada [6]. De modo que la distribución de probabilidades de la velocidad de arribo para cada vehículo toma la forma matemática de la ecuación 2. A modo ilustrativo se presenta la Figura 5 donde puede apreciarse la distribución uniforme de probabilidad de velocidades de arribo.

$$P(v) = \begin{cases} \frac{1}{v_{m\acute{a}x} - v_{m\acute{i}n}} & v_{m\acute{i}n} < v < v_{m\acute{a}x} \\ 0 & \text{otro } v \end{cases} \quad 2$$

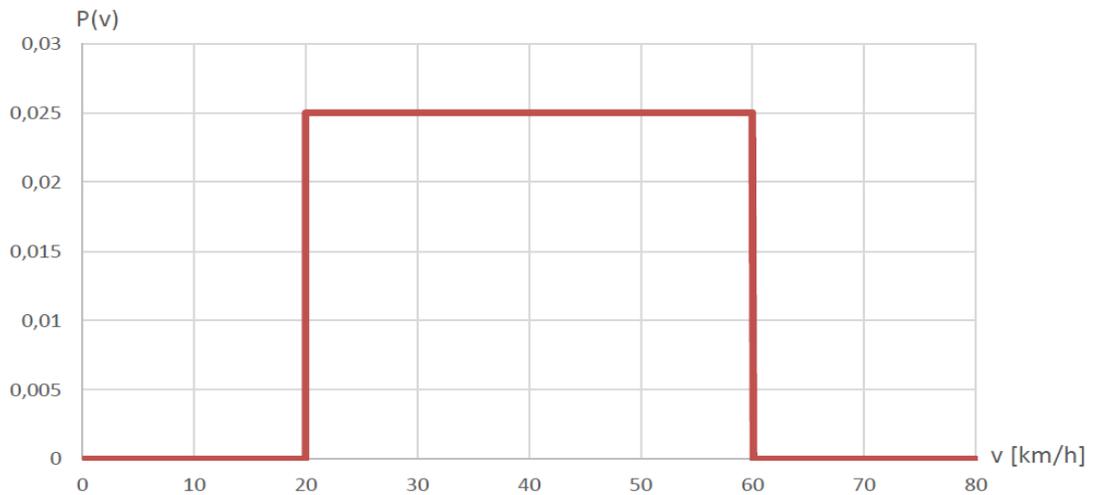


Figura 5: Distribución uniforme de velocidades de arribo de los vehículos en el punto de observación

Con el objetivo de validar el diseño de semáforos realizado en el contexto del proyecto fue necesario simular los controladores bajo diversos escenarios de tráfico que constituyan una reproducción de las condiciones reales del tráfico cambiante. Así, valiéndose de las descripciones matemáticas expuestas se ha diseñado un algoritmo recursivo que permite generar “colas de vehículos” que arriban a la intersección de referencia. Estas colas de vehículos son producidas en forma aleatoria bajo las restricciones impuestas por la descripción estadística del fenómeno. En la Figura 6 se presenta un diagrama del algoritmo de generación de tráfico que permite producir una cola de vehículos arribando a la intersección de referencia por cada vía confluyente.

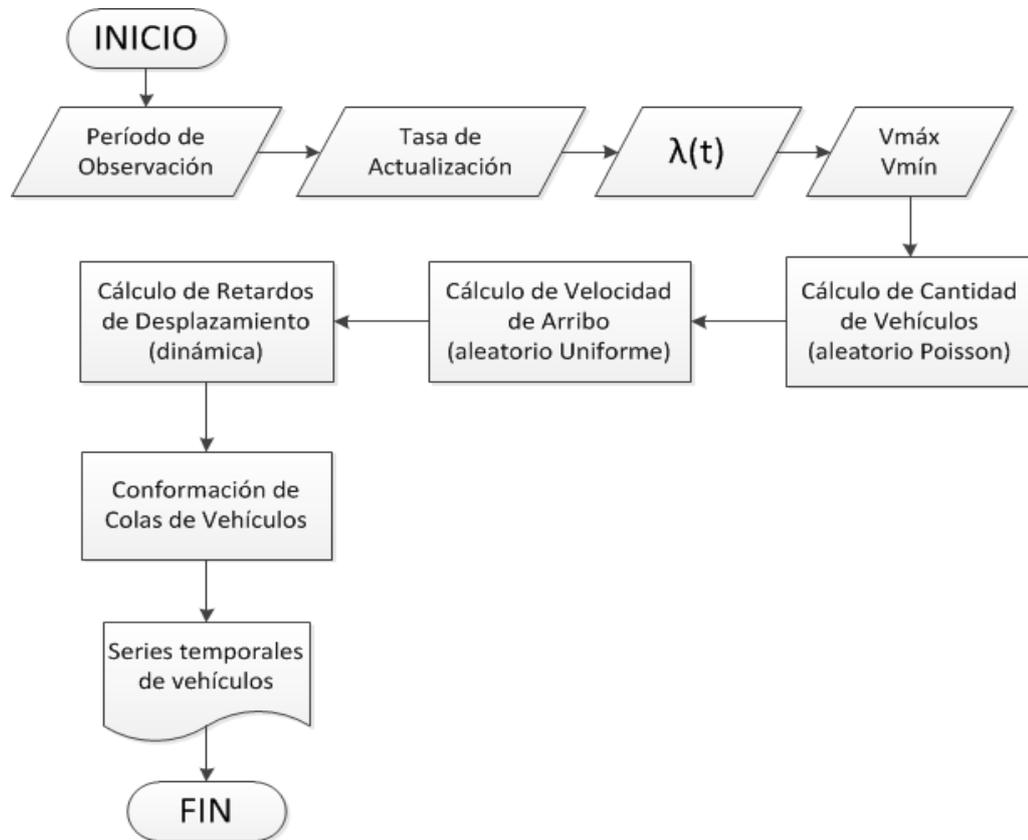


Figura 6: Diagrama del algoritmo de generación de tráfico

El algoritmo de generación de tráfico presentado permite producir en cada ejecución una serie temporal aleatoria de vehículos que arriban a la intersección semaforizada; donde la cantidad y velocidad de arribo de los vehículos está regida por las respectivas distribuciones de probabilidad que conforman el modelo matemático. De esta manera, es posible producir diversos escenarios de tráfico al modificar las características de las funciones $\lambda(t)$ para cada una de las vías confluyentes a la intersección.

La implementación práctica de éste algoritmo se ha programado en lenguaje de alto nivel MATLAB®, con lo cual es posible realizar numerosas ejecuciones del mismo para obtener diversos conjuntos de datos que representan una multiplicidad de condiciones de tráfico.

Resultados y Discusión

El modelo matemático que se confeccionó para describir estadísticamente el arribo de vehículos en una intersección semaforizada junto a la implementación programática del algoritmo de



generación de tráfico, permite producir series temporales aleatorias de colas de vehículos con ajuste a los estadísticos que se proveen como parámetros. En la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3 se exhibe una porción ilustrativa de una serie de datos obtenida con la ejecución del algoritmo desarrollado.

Tabla 1: Serie temporal en Vía Principal Derecha

Tiempo [min]	Velocidad [km/h]
0:00	17
1:20	17
2:30	17
3:48	17
5:06	17
60:00	45
60:30	45
61:00	45
180:00	44
180:30	44
181:00	44

Tabla 2: Serie temporal en Vía Principal Izquierda

Tiempo [min]	Velocidad [km/h]
0:00	31
0:42	31
1:24	31
2:06	31
60:00	12
61:54	12
63:42	12
65:36	12
67:30	12
180:00	43
180:30	43
181:00	43



Tabla 3: Serie temporal en Vía Lateral

Tiempo [min]	Velocidad [km/h]
0:00	56
0:24	56
0:48	56
60:00	24
120:00	32
120:42	32
180:00	18

Es importante destacar que para un mismo período de observación (200 min en este ejemplo) la cantidad de elementos que contienen las series es distinta para cada uno de los carriles; eso demuestra que el tráfico generado es con parámetros diferentes, es decir el valor esperado (?) en cada una de las vías es distinto. En la Tabla 4 se presenta un resumen de los parámetros y en las ecuaciones 3, 4 y 5 se aprecia la forma matemática de las funciones de ? utilizadas para cada vía al producir los datos exhibidos previamente.

Tabla 4: Parámetros del algoritmo

Período de Observación [min]	200
Tasa de Actualización [min]	60

$$\lambda_{principal-derecha}(t) = \{3 \quad 0 < t < 200 \quad 3$$

$$\lambda_{principal-izquierda}(t) = \{2 \quad 0 < t < 200 \quad 4$$

$$\lambda_{lateral}(t) = \{1 \quad 0 < t < 200 \quad 5$$

Conclusiones



El análisis del modelo estadístico de arribo de vehículos a una intersección de calles junto a la implementación de un algoritmo aleatorio permitió generar series temporales de colas de vehículos con diversas condiciones de tráfico. En consecuencia, el desarrollo de ésta línea en el marco del proyecto de investigación ha permitido suplir la necesidad interna en el proceso de validación del controlador adaptativo propuesto.

Referencias

- [1] Télam, «El parque automotor creció más del doble en la última década y hay un vehículo cada 3,5 habitantes,» Télam, 12 06 2014. [En línea]. Available: <http://www.telam.com.ar/notas/201406/67046-argentina-parque-automotor.html>. [Último acceso: 22 07 2016].
- [2] I. Adam, A. Wahab, M. Yaakop, A. Abdul Salam y Z. Zaharudin, «Adaptive Fuzzy Logic Traffic Light Management System,» de International Conference on Engineering Technology and Technopreneurship (ICE2T 2014), Gombak, 2014.
- [3] M. G. Krujoski, G. G. Linder, J. E. Kolodziej y S. A. Garassino, «Sistemas de Control de Semáforos: Secuencia de Duración Fija vs. Control Adaptativo,» de Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico Extensión y Vinculación de la Facultad de Ingeniería 2015, Oberá, 2015.
- [4] K. T. Kok, K. Marzuki y Y. Rubiyah, «Intelligent traffic lights control by fuzzy logic,» Malaysian Journal of Computer Science, vol. 9, n° 2, pp. 29-35, 1996.
- [5] R. E. Walpole, R. H. Myers y S. L. Myers, «Distribución de Poisson y Proceso de Poisson,» de Probabilidad y Estadística para Ingenieros - Sexta Edición, México, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., 1999, pp. 135-136.
- [6] R. E. Walpole, R. H. Myers y S. L. Myers, «Distribución Uniforme Continua,» de Probabilidad y Estadística para Ingenieros - Sexta Edición, México, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., 1999, pp. 143-144.