

# Atención regionalizada del trauma: una propuesta metodológica desde la dinámica de sistemas

## Regionalized trauma care: a methodological proposal from the system dynamics

Piedad Roldán J<sup>1</sup>; Germán González E<sup>2</sup>; Lucía Martínez F<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Nutricionista-dietista, magíster en salud pública. Facultad Nacional de Salud Pública. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: roldan@guajiros.udea.edu.co

<sup>2</sup> Médico, PhD en epidemiología, Facultad Nacional de Salud Pública. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: ggonzaleze@guajiros.udea.edu.co

<sup>3</sup> Historiadora, Magíster en Salud Pública. Facultad de Medicina. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: lmartínez@hotmail.com

Recibido: 18 de noviembre de 2008. Aprobado: 16 de julio de 2009

Roldán P, González G, Martínez L. Atención regionalizada del trauma: una propuesta metodológica desde la dinámica de sistemas. Rev Fac Nac Salud Pública 2009;27(2): 109-120.

### Resumen

Los estudios referentes al trauma conocidos se caracterizan por ser multicausales, pero al observar el impacto de las intervenciones sobre sus causas, se observa que no clarifican cuál es el camino más idóneo para su prevención y control. **Objetivo:** abordar el problema del trauma desde un enfoque integrador que facilite entender el fenómeno desde sus interrelaciones complejas. **Metodología:** aplicando la dinámica de sistemas planteada por Forrester para proponer un modelo dinámico que permita prever situaciones relacionadas con su prevención y la atención, para plantear políticas públicas hacia la disminución de la incidencia y la mortalidad. El proceso incluyó los seis pa-

sos de la dinámica de sistemas que permite entregar un modelo para el análisis de los escenarios actuales y posibles en su atención, basados en simulaciones del comportamiento del trauma, incluidas las variables de incidencia y prevención en interrelación con la atención prehospitalaria y hospitalaria. **Resultados:** fue posible la propuesta de escenario ideal en la atención del trauma planteada en la hipótesis dinámica formulada: “la atención oportuna del paciente indicado, en la institución adecuada, es garantía para la disminución de la letalidad por trauma”. -----**Palabras clave:** trauma, modelo dinámico, red regionalizada, atención

### Abstract

Studies relating to trauma are mainly multicausal, but when we observe the impact of interventions on their causes, there is no clarity about the best way for prevention and control. **Objective:** To approach the problem of trauma from an integral point of view that facilitates understanding the phenomenon from its complex interrelationships. **Methodology:** using the system dynamics raised by Forrester to propose a dynamic model capable of predicting situations related to prevention and care, to raise public policies towards reducing the incidence and mortality. The process included

six steps of the dynamics of systems to deliver a model for the analysis of existing and potential scenarios in their care, based on simulations of the behavior of the trauma, including the incidence and prevention of variables in interaction with pre-hospital care and hospitable. **Results:** the proposal was ideal in the care of trauma described in the dynamic scenario put “appropriate care of the patient described in the appropriate institution, is guaranteed to reduce the mortality for trauma”. -----**Key words:** trauma, dynamic model, regionalized (focused) web, attention

## Introducción

El trauma, especialmente el intencional, es un problema de salud pública en todo el mundo, por las altas tasas de mortalidad, la incapacidad que genera y los costos de la atención y rehabilitación.<sup>1</sup> Los estudios referentes al trauma que se conocen, se caracterizan por ser multicausales, pero al observar el impacto de las intervenciones sobre sus causas directas o indirectas, se observa que no han logrado clarificar el camino más idóneo para lograr su prevención y control.<sup>2</sup> Este estudio pretendió un acercamiento al problema del trauma desde un enfoque integrador que facilite entender el fenómeno desde sus interrelaciones complejas. De esta manera, se utilizó la metodología de la dinámica de sistemas planteada por Forrester para proponer un modelo dinámico que permita prever situaciones relacionadas con la prevención y la atención del trauma en sus tres fases: pretrauma, trauma y postrauma, para plantear políticas públicas que contribuyan a la disminución de la incidencia y de la mortalidad por esta causa.<sup>3</sup>

El proceso incluyó los seis pasos de la dinámica de sistemas (Forrester, 1998), que permiten entregar un modelo para el análisis de los escenarios actuales y posibles en la atención del trauma basados en simulaciones del comportamiento, incluidas las variables de incidencia y prevención en interrelación con la atención prehospitalaria y hospitalaria. El objetivo es evaluar las intervenciones y la oportunidad de la atención, tanto del producto final de la intervención hospitalaria, como del proceso del trauma en sus fases (pretrauma, trauma y postrauma). Lo anterior, para proponer una estrategia de intervención del trauma fundamentada en escenarios, que pueda incluirse en los procesos de diseño de políticas públicas más adecuadas y efectivas.


## Metodología





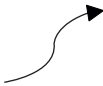
Con fundamento en la dinámica de sistemas se interrelacionaron dos propuestas metodológicas: la primera utilizó la metodología descriptiva para identificar los factores, variables y componentes en la atención del trauma y su interacción dinámica en el tiempo, y la segunda la modelación dinámica para la simulación del sistema de atención del trauma y el diseño de escenarios ideales y posibles para intervenir la situación en el tiempo. La modelación se hizo siguiendo los seis pasos metodológicos propuestos:<sup>4</sup>

1. *Definición del problema:* partió de analizar el trauma de manera sistémica, descomponiéndolo en sus componentes e identificando la interrelación entre ellos. Se hizo desde la ubicación de los determinantes en la atención del trauma en sus fases, así:
  - *Fase 1 (pretrauma):* se consideraron variables asociadas con la prevención del trauma para

disminuir su incidencia. Se partió de la información sobre la población general de la ciudad, por edad y sexo y se interrelacionó con las variables asociadas a la prevención primaria orientadas a impactar el comportamiento social relacionado con la incidencia del trauma: *inequidad, empleo, educación, control de armas, controles sobre conductores ebrios, uso de casco en motociclistas y consumo de alcohol, control sobre la violencia intrafamiliar y otras actividades de policía.*

- *Fases 2 y 3 (trauma y postrauma):* relacionadas con la atención en salud, en dos módulos: el primero, *de atención prehospitalaria*, y el segundo, *de atención hospitalaria*. Para el primer módulo se consideraron variables asociadas con la proporción de casos que reciben esta atención, y en ellos, el grado *de severidad relacionado con la causa externa del trauma, la edad y la comorbilidad, el tiempo evento/respuesta y evento/traslado y las tasas de mortalidad y de supervivencia*. Para el segundo módulo se consideraron variables relacionadas con la atención, estableciendo la proporción de casos atendidos en instituciones de salud con o sin atención prehospitalaria. De esta proporción, se identifican los tiempos evento/ingreso/atención, la severidad, las complicaciones, la calidad de la atención y las tasas de mortalidad y supervivencia.
2. *Desarrollo conceptual del sistema, con elaboración del diagrama de influencias o diagrama causal.* Este diagrama permite establecer los bucles de realimentación en el sistema definiendo los elementos usados para su descripción y las influencias entre ellos. El resultado de esta fase fue el establecimiento de un diagrama con tres bucles de realimentación negativa, donde el factor de estabilización del sistema está centrado en acciones de prevención primaria y secundaria para mitigar la incidencia y la mortalidad por trauma.
  3. *Formalización del modelo:* se hizo la “traducción” del diagrama de influencias alcanzado en el paso anterior para obtener el diagrama de Forrester. Se establecieron las funciones y las ecuaciones del modelo, utilizando como soporte el software Powersim.© El diagrama de Forrester responde a la estructura dada al sistema en tres componentes: *prevención, atención prehospitalaria y atención hospitalaria*. Se establecieron las siguientes variables:

Variables	Diagramación
<b>Fuente (o sumidero) del sistema:</b> la población de Medellín	
<b>Unidad de tiempo:</b> un año (2002 para iniciar el análisis)	
<b>Parámetros:</b> tasas y proporciones	

VARIABLES	Diagramación
<b>VARIABLES DE ESTADO (información almacenable):</b> casos de trauma (incidencia), casos de trauma con atención prehospitalaria, casos de trauma no vistos por servicios de salud, casos de trauma atendidos en servicios de salud, hospitalización, complicaciones, días de estancia hospitalaria, defunciones, vivos	
<b>VARIABLES DE FLUJO (afectan el comportamiento de las variables de estado):</b> proporción de personas con trauma, proporción de atención prehospitalaria, proporción de atención directa, proporción de hospitalización, tasa de mortalidad prehospitalaria, tasa de complicaciones, tasa de supervivencia y letalidad de complicados, tiempos de traslado/ ingreso/atención, media de estancia hospitalaria	
<b>VARIABLES AUXILIARES (información que ayuda a explicar los valores de los flujos):</b> actividades de prevención y severidad del trauma	
<b>TIEMPOS Y RETRASOS:</b> tiempos de atención, tiempos de traslado, etc.	
<b>CANALES Y FLUJOS DE INFORMACIÓN (representan las interrelaciones entre las variables):</b> la definición de los flujos e interrelaciones entre las variables se concretó en un sistema de ecuaciones que define realmente el comportamiento del sistema dinámico; para ello, se estableció el ingreso de la información en bases de datos en Excel, que fueron importadas a Powersim.© Para lograr este paso, la base debe ser la construcción del modelo mental previamente trabajado, es decir la conceptualización.	

4. **Análisis del comportamiento del modelo:** La simulación para determinar las trayectorias que genera la implementación de políticas de intervención sobre los factores de riesgo, sumados a las condiciones de la atención prehospitalaria y hospitalaria sobre la incidencia y la mortalidad por trauma.
5. **Validación del modelo:** Con ensayos y análisis para evaluar su validez y calidad. Estos comprendieron la comprobación de la consistencia lógica de la hipótesis inicialmente formulada, así como el análisis de sensibilidad para determinar las conclusiones desde la implementación de estrategias y políticas públicas sobre el problema. Para esto se trabajó con datos cuantitativos desde estudios y estadísticas de la ciudad e información cualitativa obtenida del trabajo con expertos y resultados de estudios locales, nacionales e internacionales alrededor del tema.
6. **Utilización del modelo:** se hicieron simulaciones de implementación de políticas públicas e intervenciones particulares, para la visualización de

escenarios ideales y posibles que configuran la propuesta de políticas públicas que deben ser asumidas en la ciudad.

## Resultados

La fase descriptiva permitió conceptualizar el trauma como sistema complejo y dinámico. En la definición del problema, el punto central es que mientras el trauma y la intervención sigan analizándose con un enfoque simple y lineal y desde una relación directa, unidireccional o bidireccional entre las variables asociadas, las posibilidades de superarlo o mitigarlo serán limitadas. La propuesta es abordarlo desde su naturaleza compleja, además de reconocer la multiplicidad de variables, hay que entender sus múltiples formas de interacción y sus efectos en el tiempo.<sup>5</sup> Es a partir de este planteamiento como se formuló la siguiente hipótesis dinámica: “*La atención oportuna del paciente indicado, en la institución adecuada, es garantía para la disminución de la letalidad por trauma*”.

Al desglosar la hipótesis, se evidencian dos elementos determinantes en el concepto complejo de la atención del trauma:

- El primero se refiere al tiempo como determinante de la oportunidad en la atención. Este componente tiene de manera implícita y explícita las acciones de prevención secundaria (fase de trauma y postrauma) y prevención primaria (fase de pretrauma), donde se identifican los siguientes determinantes: *a)* el tiempo de exposición a los factores de riesgo y a las acciones de prevención para modificarlos positivamente y disminuir las probabilidades de ocurrencia; este período es variable y está condicionado por el tipo de factores de riesgo, la vulnerabilidad para ser modificados y la efectividad de las decisiones para intervenirlos; *b)* el tiempo en que se presenta el evento, que es variable donde la energía se acumula, se libera y se transmite; es el momento de ocurrencia del trauma que está determinado por la causa externa y las condiciones iniciales que lo rodean; *c)* el tiempo transcurrido entre el evento y el momento en que se recibe atención inicial por una institución de salud, que puede subdividirse en dos períodos: uno, ojalá menor a treinta minutos, cuando se prestan los primeros auxilios, y otro, que parte del anterior, que se inicia con la atención médica y las intervenciones necesarias<sup>6</sup> y *d)* el tiempo considerado para la recuperación y rehabilitación del paciente después de la atención inicial requerida;<sup>7</sup> este es el período en el que el riesgo de muerte está representado en las complicaciones (5 a 7 días), dependen tanto de factores propios del paciente y de la severidad del trauma, como de las decisiones que se tomen en el proceso de atención médica.

- El segundo se refiere a la acumulación y transmisión de la energía en el proceso de atención. Este componente da cuenta de las condiciones iniciales en que se acumula y transmite la energía y del proceso de toma de decisiones alrededor de la selección y atención del paciente. En este componente se identifican los siguientes determinantes: *a)* el contexto físico y social que afecta la vulnerabilidad para sufrir un trauma (inequidad, educación, controles sociales, etc.); *b)* las condiciones individuales en el momento del trauma (estado de salud, edad, sexo); *c)* El agente causante del trauma (armas, golpes, envenenamiento, quemaduras, etc.); y *d)* la severidad del trauma, que se determina por las condiciones fisiológicas del paciente, a partir de las cuales puede obtenerse una idea de su situación vital y, con ello, contar con una guía para su clasificación (triage) y definición de su atención. La severidad ejerce una influencia positiva sobre las complicaciones por la asociación entre el grado de severidad y la probabilidad de que se presenten complicaciones y la probabilidad de muerte.
- Estos dos componentes de la hipótesis reafirman que el trauma no puede definirse sólo como la lesión causada por una energía dañina, sino además como un sistema adaptativo, de comportamiento no periódico e impredecible, por las reacciones que se dan en diferentes magnitudes y órdenes espaciales y temporales que tienen una evolución sensible a las condiciones iniciales en las que se presenta la acumulación, liberación y transmisión de la energía.

Así, la disminución de la mortalidad por trauma es un proceso continuo de toma de decisiones que incluye todo lo relacionado con la prevención del daño o su severidad (fase de pretrauma), con la atención en el momento mismo en que se acumula y se transmite la energía (trauma) y con la atención en la fase de recuperación o mitigación del daño (postrauma).

Este proceso es el que se explica en el diagrama de influencias (o diagrama causal) de la figura 1 y que se convierte en el punto central para conceptualizar el trauma como sistema dinámico y complejo. En él se reconocen tres bucles de realimentación negativa y se observa en cada uno de ellos una variable estabilizadora del sistema que, al relacionarse con los procesos de toma de decisiones, ejerce la influencia que estabiliza el sistema.

En el primer bucle (figura 2), el punto de partida es la incidencia del trauma, entendida como el número de casos en la población de Medellín en un período determinado. La información sobre incidencia del trauma influencia las acciones de prevención, donde se espera que a mayor proporción de personas que sufren traumas, mayores sean las acciones que se emprendan para modificar el comportamiento social en favor de la disminución de dicha proporción. Estas influencias determinan

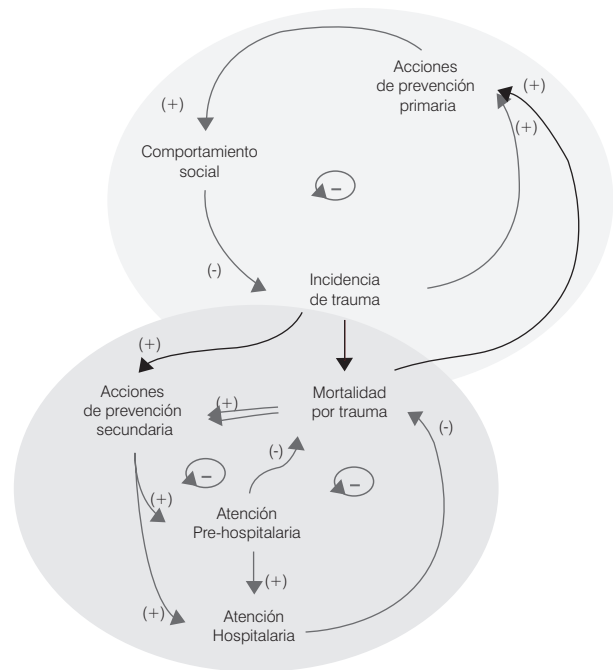


Figura 1. Modelo dinámico para la comprensión sistémica de la atención del trauma

que el bucle sea negativo por la estabilización que se logra frente al cambio positivo en el comportamiento social para prevenir el fenómeno. La estructura de este bucle supone un comportamiento en el que la incidencia tiende a estabilizarse en el momento en que los factores de riesgo disminuyan, a causa del comportamiento social, afectando la disminución en la probabilidad de mortalidad por trauma.

En el segundo bucle (figura 3), es la incidencia del trauma el punto de partida para suministrar la información requerida que oriente las decisiones en torno a las acciones para disminuir la mortalidad. Así se analiza la influencia ejercida por las acciones de prevención secundaria encaminadas a la atención prehospitalaria del trauma, que generen el efecto esperado sobre la mortalidad. Son estas acciones las que estabilizan el sistema y permiten que el comportamiento no sea ascendente. Aquí están en juego las decisiones que se orienten, no solo a la adopción permanente de la atención prehospitalaria, sino también sobre los sistemas de información, clasificación, remisión y transporte de los pacientes en las condiciones requeridas para cada situación.

El tercer bucle (figura 4) plantea las influencias entre la atención prehospitalaria como determinante positivo de una mejor atención hospitalaria, así como todas las demás acciones de prevención secundaria que se desarrollen para garantizar la buena atención. Este es el factor estabilizador que contribuye a disminuir la mortalidad por esta causa.

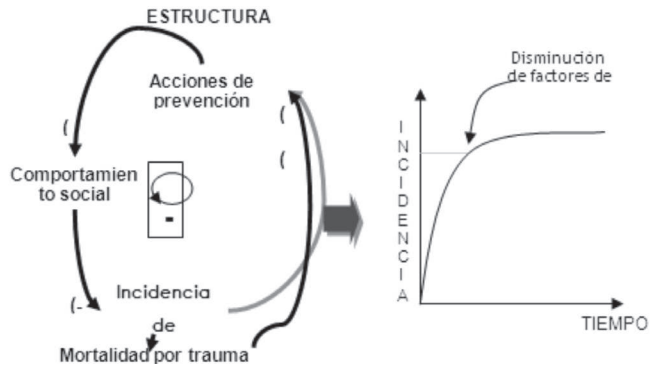


Figura 2. Bucle de realimentación negativa en la prevención del trauma

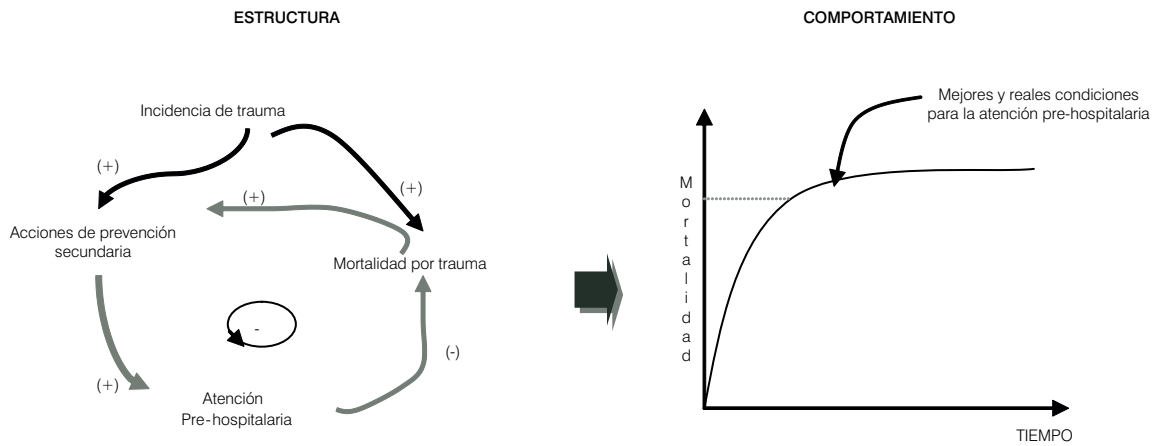


Figura 3. Bucle de realimentación negativa en la atención prehospitalaria

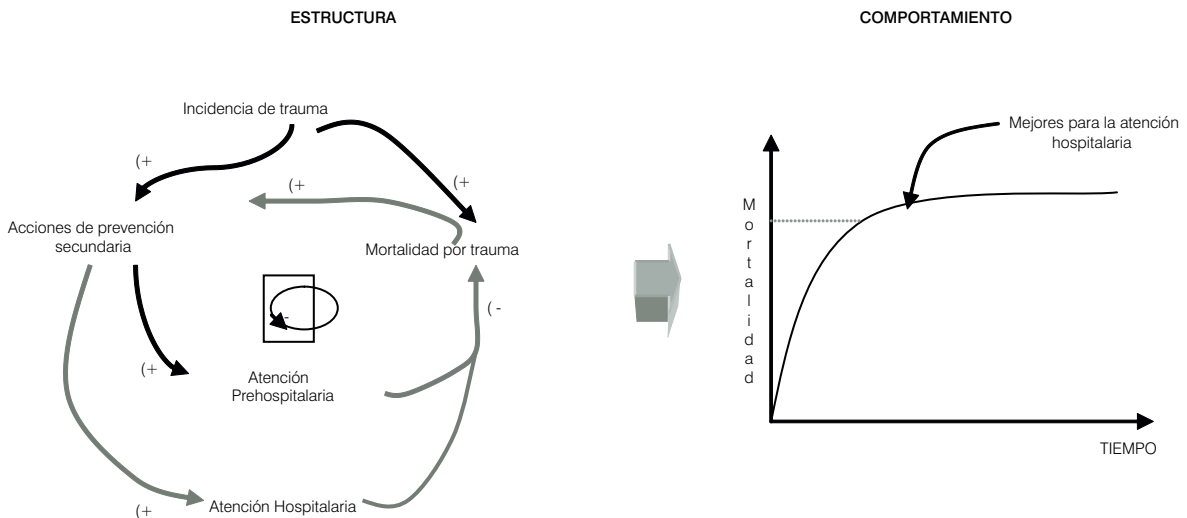


Figura 4. Bucle de realimentación negativa en la atención hospitalaria



Con el análisis de cada uno de los bucles del diagrama de influencias, se pasa al análisis detallado de las variables y sus interrelaciones, identificando aquellas que acumulan información (variables de nivel), las que permiten la obtención de la información (variables auxiliares) y las que se mantienen constantes en el tiempo, identificando entre ellas los flujos que determinan sus formas de interrelación.

### Formalización del modelo: diagrama de Forrester

Teniendo la claridad conceptual y su visualización en el diagrama causal o de influencias (estructura del sistema), se establece el diagrama de Forrester que para el caso está dividido en tres módulos que representan las fases del proceso: pretrauma, trauma y postrauma, relacionadas con los elementos estabilizadores considerados los bucles: prevención, atención prehospitalaria y atención hospitalaria, respectivamente.

### La prevención del trauma

La proporción de personas con trauma representa en el sistema una variable de flujo porque afecta el comportamiento de las variables de estado, que en este caso son los casos de trauma. Estos afectan el número de casos atendidos por servicios de salud y, de allí, a los casos que sobreviven y que fallecen. La fuente que “alimenta” esta variable de flujo es la población, pues se entiende asociado con mayor o menor número de casos. Por tanto se manejan tasas para hacer comparaciones y tendencias del riesgo en una comunidad. La proporción de personas que sufre trauma tiene tres variables, que son determinantes para que se modifique su flujo: edad, sexo y tipo de trauma.

Frente a la edad se sabe que en las edades extremas el trauma está asociado con caídas;<sup>8</sup> en los adultos jóvenes se encuentra mayor asociación con el trauma intencional<sup>9</sup> y en personas que superan los 55 años, existe mayor letalidad cuando se ajusta por grado de severidad del trauma. Con la segunda variable auxiliar, referida al sexo, se conoce que los hombres son más susceptibles de sufrir trauma, y se piensa que factores biológicos como las hormonas y las diferencias en el desarrollo cerebral pueden ser la explicación.<sup>10</sup> La tercera variable (tipo de trauma) se explica en que la incidencia de unos u otros tipos de trauma está asociada con las variables anteriores. Así, un adulto joven (entre 15 y 25 años) masculino, tiene una alta probabilidad en nuestro medio de sufrir trauma intencional por arma de fuego, del tipo penetrante o lesiones en “accidentes” de tránsito o por la práctica de deportes. En contraste con las mujeres en este mismo grupo de edad, la incidencia de trauma es menor.<sup>11</sup> Otra consideración frente al tipo de trauma tiene que ver con la región corporal comprometida que está asociada con

el incremento de la letalidad; el trauma en la cabeza, ya sea trauma cerrado o abierto compromete las funciones del sistema nervioso central, muchas indispensables para vivir. Este tipo de trauma también es más severo en edades más avanzadas.<sup>12</sup>

En el modelo (figura 5), se consideran otras variables auxiliares que aportan al análisis, que generan influencias sobre las actividades de prevención y sobre la proporción de personas con trauma. En este análisis, se consideran al menos ocho variables que ejercen esta influencia sobre el nivel de prevención del trauma en un modelo de atención: consumo de alcohol, conducir ebrio, el control de cascos en motociclistas, el control de armas de fuego, los controles policiales, la educación, el empleo y la iniquidad.

El consumo de alcohol y de los conductores ebrios está asociado con las caídas, accidentes de tránsito y el trauma intencional;<sup>5,9</sup> el porte de armas estimula su uso en condiciones de conflicto, cuando hay consumo de licor o exposición a factores de riesgo asociados con el lugar y tiempo;<sup>5,9</sup> los conflictos sociales están asociados con trauma intencional y pueden ser externos o internos; en ambas circunstancias se dan casos de trauma predominantemente en hombres. El conflicto social interno se encuentra asociado a la distribución de la riqueza,<sup>13</sup> asimismo, la iniquidad es un factor asociado con la violencia reconocido ampliamente en la literatura;<sup>14</sup> las actividades de prevención son de tres tipos: las de ingeniería –como el cinturón de seguridad o el casco en los motociclistas y ciclistas–, las educativas y las dictadas por ley. Cuando se combinan este tipo de intervenciones, la efectividad es mayor.<sup>15</sup>

### La atención prehospitalaria del trauma

Es un proceso asociado con un Sistema Regionalizado de Atención de Trauma que incluye la prevención analizada en el módulo anterior, la educación para garantizar una respuesta oportuna y adecuada en caso de trauma, la preparación para la atención de desastres, la investigación, y la atención médica, compuesta por el acceso, la atención prehospitalaria, la atención hospitalaria y la rehabilitación.<sup>16</sup>

En este módulo (figura 6), comienza a considerarse como variable fundamental el tiempo, dado que puede ser la diferencia entre la vida y la muerte. También pueden apreciarse tres momentos críticos: el tiempo entre la ocurrencia del evento y la respuesta de los paramédicos para la estabilización del paciente, el tiempo de traslado a la institución de acuerdo a su clasificación<sup>17</sup> y el tiempo entre la ocurrencia del evento y la prestación de los servicios de salud en los diferentes niveles de atención, de acuerdo a la severidad, el tipo de trauma y la región corporal.

La variable de estado con la que inicia el análisis de este módulo es la de los casos de trauma, de la que se

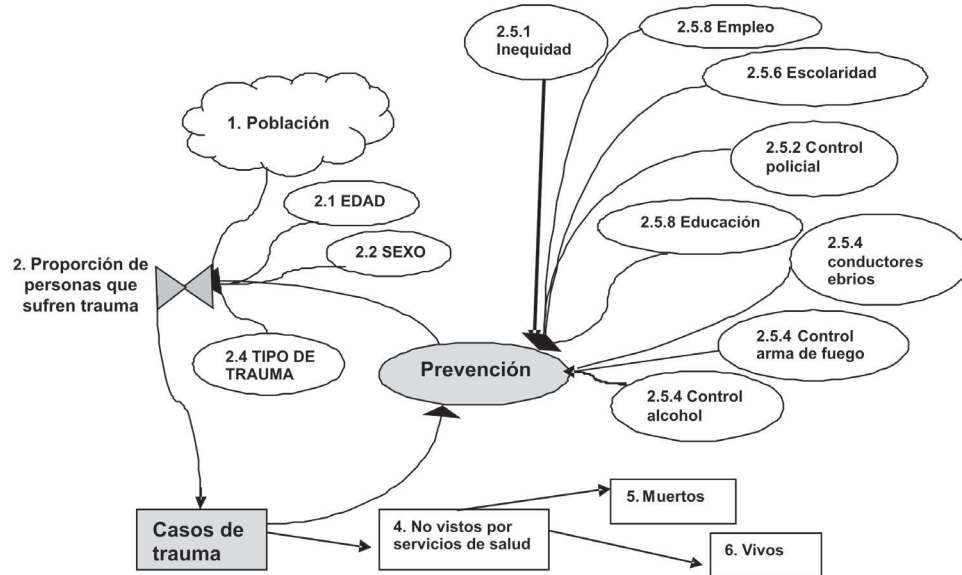


Figura 5. Diagrama de Forrester para el módulo de prevención del trauma

derivan tres influencias: la primera hacia la proporción de casos no vistos por los servicios de salud y su grado de sobrevivencia o muerte, la segunda, son los casos atendidos directamente, sin pasar por la atención prehospitalaria y la tercera, los casos que reciben atención prehospitalaria. Para cada una de estas existen variables de flujo y auxiliares que determinan su comportamiento. Tal es el caso de la severidad, que como variable auxiliar, ayuda al análisis de las variables de flujo relacionadas con la proporción de atención, la proporción de atención directa y la proporción de hospitalización, dado que del grado de severidad dependen las decisiones que se tomen frente a la atención y de allí, los resultados en cuanto a recuperación, secuelas y fallecimientos.

Para el análisis del comportamiento de la variable de estado sobre los casos de trauma con atención prehospitalaria, se considera una variable auxiliar de especial importancia, el proceso de evaluación y monitoreo, orientado a mantener la oportunidad de la atención y a evitar el máximo de errores, se hace manteniendo control sobre los tiempos evento-acceso, acceso-arribo a la escena, tiempo en la escena para la reanimación y estabilización, tiempo de transporte a la institución hospitalaria.<sup>18</sup> Adicionalmente para mantener control sobre la calidad se siguen los casos y se identifican los errores, también existen formas complementarias que calculan, según la severidad del trauma, la probabilidad de supervivencia y se compara con la observada.

Muchos pacientes mueren antes de recibir atención, aún con un buen sistema de atención prehospitalaria. Otros mueren durante la atención prehospitalaria. Es factible evaluarlo mediante el estudio de la mortalidad,

se utilizan métodos anatómicos como el Injury Severity Score (ISS), o con un cruce del trauma score TS o revised trauma score RTS y el ISS (Pre-chart) se pueden identificar aquellos pacientes que sobrevivieron teniendo una alta probabilidad de morir (buena calidad de atención) o aquellos que murieron debiendo haber sobrevivido con una buena atención (muertes prevenibles).<sup>19</sup>

### La atención hospitalaria del trauma

Una vez ocurre el trauma, se inicia un período de compromiso funcional que, según su severidad, puede generar o no la muerte o una incapacidad transitoria o permanente. En última instancia, los objetivos de la intervención en el trauma son preservar la vida y recuperar las funciones comprometidas o disminuir al máximo la incapacidad. De allí que las variables auxiliares y de flujo que en este módulo se analizan, tienen que ver con la severidad del trauma, la oportunidad referida a los tiempos de atención y de decisiones frente al manejo, las complicaciones que se presenten y la calidad de la atención (figura 7).

Las complicaciones durante el tratamiento son una de las variables que permiten predecir el desenlace del evento. La discusión consiste en determinar si esta es una variable intermedia del evento final que puede ser la mortalidad; en nuestro caso, pensamos que las complicaciones son una variable resultante de múltiples factores asociados con el trauma y con el mismo tratamiento.<sup>20</sup> La severidad es una variable predictiva del resultado del trauma; puede ser medida mediante indicadores fisiológicos (TS), (RTS) o mediante indicadores anatómicos,

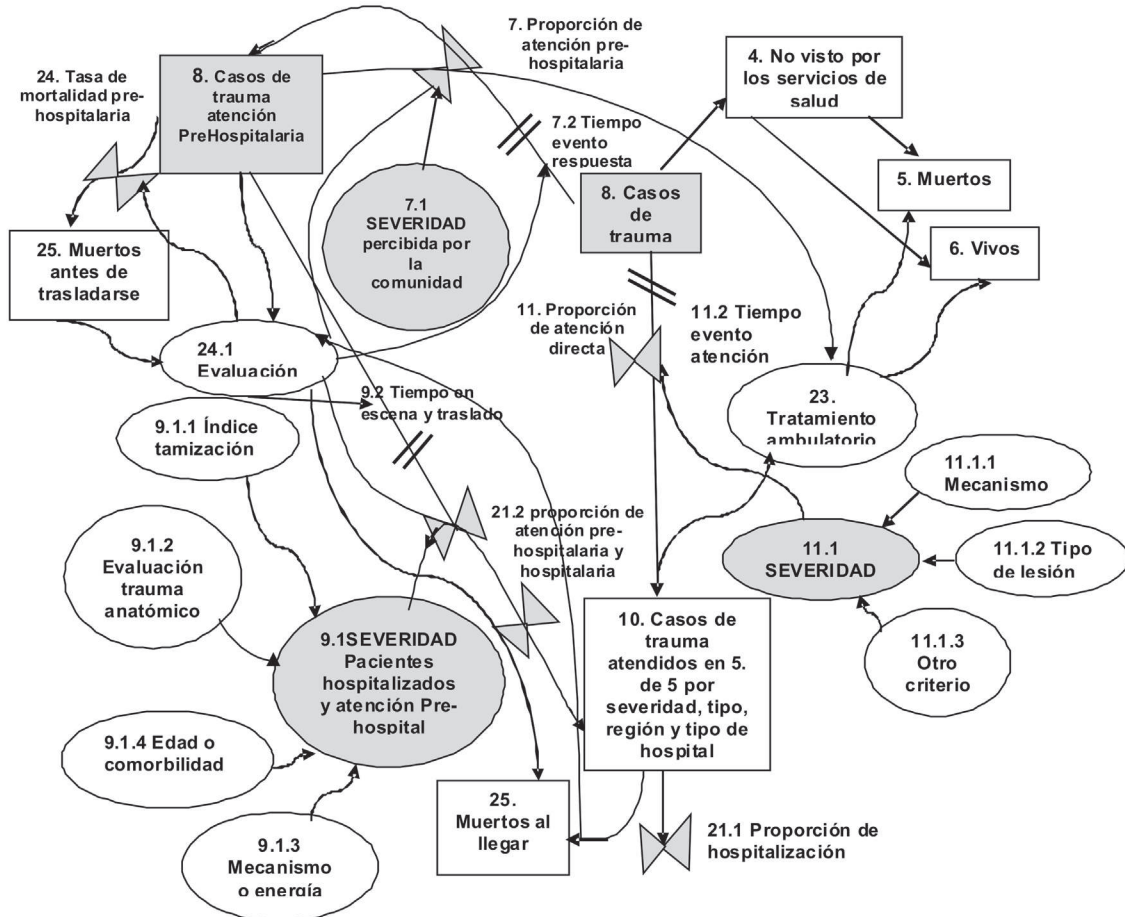


Figura 6. Diagrama de Forrester para el módulo de atención prehospitalaria del trauma

como el *abbreviated injury score* (AIS) y el *injury severity score* (ISS).<sup>21, 22</sup>

La institución hospitalaria es una variable importante; debe asegurarse durante la atención que el paciente llegue lo más rápido posible a la institución adecuada, acorde con la severidad y naturaleza de la lesión. Las instituciones deben disponer un recurso humano de inmediato, con formación y experiencia suficiente, que siga los procedimientos o protocolos de manejo adaptados por institución, y que cuente con los suministros y tecnologías requeridas.<sup>23</sup> En las instituciones, el manejo de los pacientes con trauma debe hacerse oportunamente, pues las demoras están asociadas al incremento de la mortalidad.

A partir del diagrama de Forrester, se hizo la modelación dinámica de cada uno de sus módulos, cumpliendo con las siguientes características: el módulo de prevención (figura 5) tiene una escala temporal anual, ya que se espera que si bien las políticas de prevención

sean de largo aliento, el seguimiento y el monitoreo debe hacerse de manera continua para observar adecuadamente sus consecuencias sobre el sistema general de incidencia del trauma en la ciudad. El módulo de prevención busca determinar el número de casos de trauma en Medellín, sujetos a las características de ese escenario, como son las dinámicas poblacionales, representadas en tasas de crecimiento vegetativo, y las dinámicas de incidencia por trauma. A partir de la información disponible, es posible representar la incidencia de casos de trauma para el caso inicial y la incidencia de diferentes escenarios socioeconómicos y educativos. Asimismo, se tienen escenarios de reducción de casos de trauma, dado el éxito de diferentes políticas de prevención definidas por la investigación y el conocimiento experto de los decisores. Otra característica de este módulo, y del modelo en general, es que todos los datos de entrada y los resultados pueden ser seguidos durante el horizonte de modelación, haciendo que el modelo no sea una caja



negra y permitiendo al decisor hacer un seguimiento completo de su evolución.

Los módulos de atención prehospitalaria y hospitalaria (figura 6) son de una escala temporal horaria representativos para un año, de acuerdo con la experiencia experta que se tiene. Es decir, se realiza una simulación horaria completa del proceso de atención de casos y al final de la simulación horaria, esta representa un año completo. No se simulan todas las horas del año, solo las representativas.

El modelo es una exploración poblacional y no de casos de trauma particulares. En este sentido pueden verse los resultados de políticas de prevención sobre toda la población analizada, que ha sido organizada en forma discreta por grupos de edad y sexo, con el objetivo de considerar la incidencia de los diferentes tipos de trauma sobre esos grupos. Así, para el módulo de prevención se obtendrán los casos de prevención de trauma por edad y sexo, debido a la simulación de una política de prevención en particular o combinada; por ejemplo, una política de educación ciudadana del tipo *uso de casco o prudencia orientada al peatón*, y además, campañas de conductor elegido (no consumo de alcohol) o incluso campañas socio-políticas del tipo *aumento de escolaridad*, etc.

Obtenidos los casos y organizados por edad y sexo, los entes decisores podrán mejorar la eficiencia de sus acciones y el conocimiento de la sociedad sobre la cual actúan; por ejemplo, aquellas que tengan que tomar decisiones sobre los niños, sobre las mujeres cabeza de familia o sobre el control de seguridad en general. Lo anterior permite entender la forma general del modelo, que está sustentado sobre una estructura matricial que subyace a todas las variables. Siguiendo la formulación formal de la dinámica de sistemas, el modelo simula flujos de personas afectadas por algún caso de trauma, y con características inherentes de edad y sexo, es decir, fluyen casos de trauma a los cuales se les evalúan políticas de prevención y políticas de atención prehospitalaria y hospitalaria.

La estructura matricial de este modelo es una de las más grandes hasta ahora modeladas en la plataforma Powersim Studio® (licencia de la Universidad de Antioquia), y por ello fue necesario construir submodelos para cada caso de trauma, es decir, se construyó un modelo completo siguiendo la dinámicas del diagrama de Forrester para la atención de trauma para cada uno de los nueve tipos de trauma a evaluar, así se podrá seguir la evolución de cada tipo de trauma por edad y sexo en cada uno de los módulos. Este complejo esquema de programación se presenta al decisor mediante una adecuada interfaz grafica que le permite leer los resultados de forma ágil y eficiente. Los tipos de trauma evaluados son: por arma de fuego, por arma cortopunzante, por arma corto-con-

tudente, por arma contundente, por vehículo motor, por motociclistas, por accidente tránsito-peatones, por otros accidentes tránsito y por suicidio.

## Discusión

La dinámica de sistemas surgió como respuesta a la búsqueda de procesos administrativos más eficientes, y ha tenido su mayor desarrollo en las dinámicas sociales.<sup>24</sup> Para el caso del estudio del trauma, se entrega una aplicación administrativa sobre un problema de profundas implicaciones sociales. Además, entrega las herramientas necesarias para entender el problema del trauma desde una mirada integradora, en la que no solo se analiza la multicausalidad del fenómeno y los efectos que tienen unas variables sobre otras, sino que también brinda la oportunidad de entenderlo desde la interrelación entre las variables y el impacto sobre el sistema como tal. Igualmente, permite encontrar esos factores de influencia con otros sistemas, con lo cual se supera la visión parcializada del trauma.

Lo anterior permitió el enfoque integrador, que más que un producto, es un insumo o punto de partida para el inicio de un proceso más profundo del fenómeno del trauma en cada una de sus fases y, con ello, avanzar en la identificación de los elementos críticos que puedan afectar de positivamente la definición de políticas orientadas al logro de las metas planteadas en los escenarios deseados, que no partan de la solución aparente del problema, desde lo asistencial, sino que inicie desde la prevención y la mitigación del daño.

### Propuesta de intervención fundamentada en los escenarios

Al usar el modelo, fue posible la propuesta de escenario ideal en la atención del trauma planteada en la hipótesis dinámica formulada en el estudio: *La atención oportuna del paciente indicado, en la institución adecuada, es garantía para la disminución de la letalidad por trauma*. En ella se plantea un flujo de decisiones hacia la organización y coordinación de los recursos intrahospitalarios y extrahospitalarios para prevenir, atender y rehabilitar el trauma en la ciudad, con el fin de disminuir su incidencia, letalidad, severidad, secuelas derivadas y costos directos.

Lo anterior implica acciones de prevención primaria, secundaria y terciaria, expresadas en estrategias orientadas a: 1) evitar que se produzca el daño y disminuir su severidad; 2) garantizar el proceso de atención del paciente traumatizado, desde el acceso hasta la rehabilitación y 3) disponer de acciones complementarias que permitan el conocimiento del sistema y la vigilancia permanente de problema.

Lograr esto implica pensar de manera sistémica y compleja el tratamiento del problema del trauma desarrollando al menos los siguientes componentes: prevención y control, educación, sistemas de información y vigilancia, acceso a un servicio de urgencias, atención prehospitalaria y transporte al centro de trauma indicado, atención hospitalaria y rehabilitación.

### Los componentes del sistema de atención del trauma

El desarrollo de la prevención implica promover la investigación para identificar el tipo de trauma, las formas de prevenirlo o intervenirlo, los factores de riesgo asociados y las formas de evaluar los resultados. Para ello se proponen los sistemas de vigilancia epidemiológica como alternativa eficiente de realimentación, que servirá para alimentar el modelo dinámico construido en este estudio.

La educación a las poblaciones es una de las actividades más importantes, pues mediante ella puede hacerse más vulnerable el fenómeno del trauma desde el cambio positivo hacia el control, disminución y erradicación de los factores de riesgo asociados con el comportamiento. La información, comunicación y educación hacen que las personas se empoderen y participen de en la solución del problema y en la transformación de los factores de riesgo. Debe pensarse en alimentar los sistemas de vigilancia epidemiológica con información que permita tomar decisiones acerca de la orientación de la educación en cuanto a las poblaciones más vulnerables, los riesgos y las formas de prevenirlos, las áreas de más alto riesgo, las horas de mayor ocurrencia, las formas de respuesta en situaciones especiales (entrenamiento en estabilización básica y reanimación), formas de acceder a los servicios, etc.

La atención hospitalaria incluye cuatro etapas bien definidas: acceso al sistema, atención prehospitalaria, atención hospitalaria y rehabilitación. El acceso requiere difusión adecuada a la comunidad, de tal forma que se encuentre preparada para dar información adecuada y oportuna ante cualquier evento traumático. La atención prehospitalaria requiere el entrenamiento del recurso humano, la consecución de ambulancias y equipos, como también la financiación para prestar el servicio las 24 horas durante todos los días; para esto es necesario hacer un modelaje de la ubicación y necesidades de ambulancias en las diferentes horas del día.

El subsistema prehospitalario hará la clasificación y el triage para llevar el paciente adecuado, en el momento oportuno, al centro hospitalario indicado. La adopción de protocolos de atención básica de ayuda a la vida y de algoritmos de clasificación (triage) son necesarios. Un punto crítico de la atención prehospitalaria son las comunicaciones con el centro despachador para

una oportuna respuesta y con el centro hospitalario. La atención prehospitalaria se considera como prolongación de la atención hospitalaria; esta última requiere la conformación de una red de hospitales que incluya centros de trauma especializados (al menos uno por cada millón de habitantes) y los hospitales de segundo nivel necesarios para apoyar el sistema.

Se debe estimular la designación o autodesignación de los centros de trauma especializados y de los hospitales de segundo nivel para conformar dicha red. La rehabilitación debe ser un componente de la atención desde el primer momento en que el paciente ingrese al sistema, ya sea por la atención prehospitalaria u hospitalaria y es necesario desarrollarla suficientemente para cubrir las necesidades, de acuerdo con el problema existente.

Luego del proceso de designación, se propone un proceso de acreditación por parte de una comisión integrada por personal de la Dirección Seccional de Salud, las secretarías de salud, las EPS del sistema de seguridad social en salud, personal de las instituciones (médicos urgentólogos, cirujanos, anesthesiólogos, enfermeras, paramédicos, administradores, epidemiólogos).

La evaluación del servicio es un proceso complementario y debe incluir la disponibilidad de los recursos, la oportunidad, el entrenamiento y experiencia del recurso humano, la detección y corrección de errores, la evaluación de la severidad (RTS/ISS), la supervivencia de los pacientes, la existencia de servicios especiales, como las unidades de cuidados intensivos, la rehabilitación y el aspecto financiero entre otros (figura 7).

## Conclusiones y recomendaciones

- El modelo de trauma para Medellín, diseñado sobre una plataforma de dinámica de sistemas, pretende hacer aportes en tres aspectos: metodológicos, tecnológicos y socioeconómicos. En el primer caso, el modelo representa una metodología que permitirá apoyar el proceso de planificación integrado del sistema de salud de la ciudad. Mediante el uso del modelo, las entidades planificadoras podrán analizar el impacto de diferentes políticas sobre la incidencia de trauma.
- En materia del impacto tecnológico, se espera que los resultados estimulen el desarrollo de tecnologías y procedimientos que contribuyan al mejoramiento del sector salud local, regional y nacional. Se pretende desarrollar herramientas de informática que permitirán el uso de los modelos desarrollados por parte de diversas instituciones de salud en todos los niveles para realizar sus análisis y definir las medidas preventivas y de políticas más adecuadas.
- Considerando la importancia de determinar la acción, o de diseñar las políticas adecuadas relaciona-

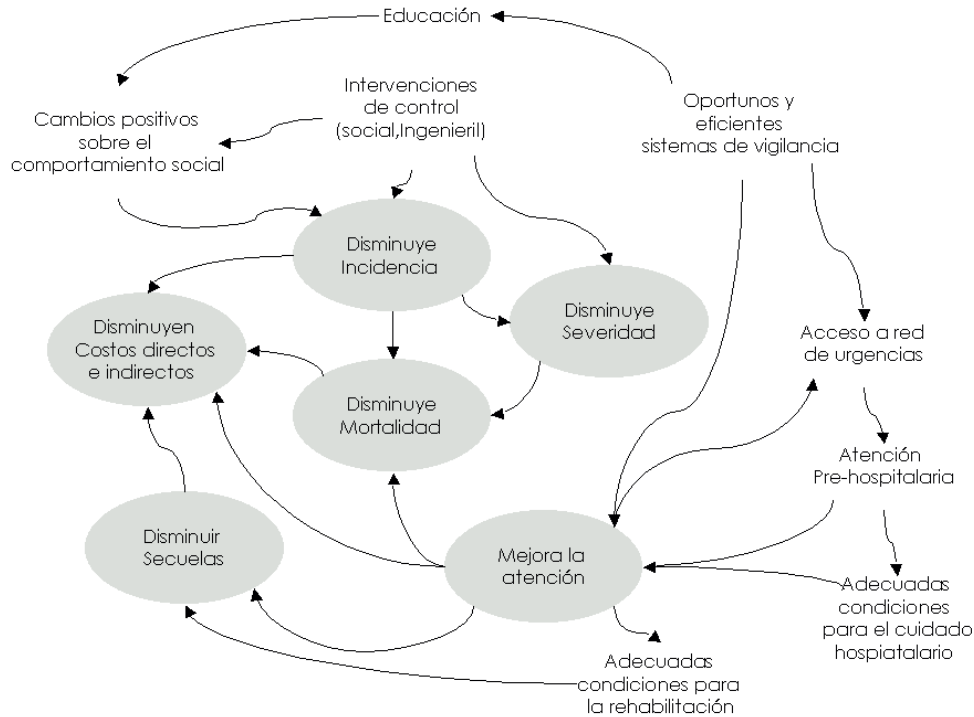


Figura 7. Interrelaciones y componentes en un sistema de atención del trauma

das con los sistemas prevención-salud, el desarrollo de herramientas de este tipo, que sirven de apoyo a la planificación del sector salud, conllevará beneficios socioeconómicos de grandes proporciones.

- La herramienta fundamental en el desarrollo del modelo de trauma es la simulación de dinámica de sistemas, que permite considerar la dinámica temporal del proceso simulado, además de las retroalimentaciones, no linealidades y retardos existentes en ese proceso. De esta manera se llega a una representación bastante ajustada a la realidad. Modelos basados en esta herramienta se utilizan con frecuencia para el apoyo a la toma de decisiones o al análisis de políticas de procesos muy complejos.
- Un valor agregado de este proceso es la oportunidad de identificación de los vacíos de información, que abren las puertas para el planteamiento de nuevas preguntas de investigación que aportarán en el conocimiento y tratamiento del fenómeno del trauma en Medellín, con posibilidad de aplicación en otros contextos. Esto porque la dinámica de sistemas es una alternativa metodológica exigente en dos aspectos: el primero es la pericia, como elemento que fortalece y permite el logro del modelo mental, punto esencial para la formulación de la hipótesis dinámica e indicador de la claridad de la representación del fenómeno. El segundo es el requerimiento de

información, que en cantidad y calidad permitan la formalización y validación del modelo, así como su utilización.

## Referencias

- 1 Murray CJL, López AD. Global and regional cause-of-death patterns in 1990. WHO Bulletin OMS 1994; 72(3):447-480.
- 2 Etienne G. World Report on violence and health. Ginebra: WHO; 2002.
- 3 González EG. Mortality pattern changes in Medellín-Colombia from 1917-1976. London School of hygiene and tropical medicine. London: Ross Institute; 1981. p. 111.
- 4 Torrealdea J. Dinámica de sistemas. Elementos y estructura de un modelo. Construyendo modelos. [Internet] [Acceso 04 de marzo de 2003]. Disponible en: [www.sc.edu/es/ccwtofof/Dinamica%20de%20sistemas](http://www.sc.edu/es/ccwtofof/Dinamica%20de%20sistemas).
- 5 Morin E. Los siete saberes necesarios para la educación del futuro. Francia: UNESCO; 1999. p.15.
- 6 Forrester JW. Diseñando el futuro. [Internet]. España: Universidad de Sevilla; 1998. [Acceso septiembre de 2002] Disponible en: <http://sysdyn.mit.edu/mitsloan.mit.edu>.
- 7 Trunkey DD. Trauma. Sci Am 1983; 249(2):28-35.
- 8 Robertson LS. Injury Epidemiology. New York: Oxford University Press; 1992.
- 9 Baker SP, O'neil B, Ginsburg MJ, LI G. The injury fact book. New York: Oxford University Press; 1992.
- 10 Tremblay R. "Aparición del comportamiento violento". En: Medellín. Alcaldía de Medellín, CES. Seminario Internacional sobre prevención temprana de la violencia y algunas experiencias exitosas. Medellín: Alcaldía de Medellín; 1999. p.45.

- 11 Colombia. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Necropsias realizadas según causa por edad y sexo. Enero a Diciembre de 2002. [Internet] Bogotá: Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses. [Acceso 01 de julio de 2003]. Disponible en: [www.medicinalegal.gov.co](http://www.medicinalegal.gov.co)
- 12 Valadka A, Narayan RK. Injury to the Cranium. En: Feliciano D, Moore EE, Mattox KL, editores. Trauma. Standford: Appleton & Lange; 1996. p.267-278.
- 13 Sarmiento A. Violencia y equidad. En: Medellín. Alcaldía de Medellín, CES. Seminario Internacional sobre prevención temprana de la violencia y algunas experiencias exitosas. Medellín: Alcaldía de Medellín; 1999. p.77.
- 14 Milzman D, Boulanger B, Rodriguez A, Soderstrom C, Mitchell K, Magnant CM. Pre-existing disease in trauma patients: A predictor of Fate independent of Age and Injury severity score. J Trauma 1992; 32(2): 236-243.
- 15 Kellerman A, Todd K. "Prevention". En: Feliciano D, Moore EE, Mattox KL, editores. Trauma. Stanford: Appleton & Lange; 1996. p.31-39.
- 16 Boyd DR, Cowley RA. Comprehensive regional trauma. Emergency medical service (EMS) Delivery sistem: The United States Experience. World J Emerg Surg. 1983; 7:149-157.
- 17 Eastman AB, Walsh JC. Field Triage. En: Feliciano D, Moore EE, Mattox KL, editores. Trauma. Stanford: Appleton and Lange; 1996. p.69-84.
- 18 Kreis DJ, Plasencia G, Augenstein D, Davis JH, Echenique M, Vopal J, *et al.* Preventable trauma deaths: Dade county, Florida. J Trauma 1986; 26(7):649-654.
- 19 Sampalis J, Boukas S, Nikolis A, Lavoie A. Preventable death classification: Interrater reliability and comparison with iss-Based Survival probability estimates. Accid Anal Prev 1995. 27(2): 199-206.
- 20 González GA, Battista R, Boivin JF, Shapiro S, Sampalis J. Model for improving emergency services on Hospital Universitario San Vicente de Paúl, Medellín-Colombia. [Tesis doctoral]. Montreal: Mc Gill University; 1996.
- 21 Robertson C, Redmond AD. The managment of Major Trauma. Oxford: Oxford University Press; 1994. p.1-192.
- 22 Sampalis J, Lavoie A, Williams J, Mulder D, Kalina M. Impact of On-site Care, Prehospital time, and level of in-hospital care on survival in severely injured patients. J Trauma 1993; 34(2):252-261.
- 23 West JG, Trunkey DD, Lim RC. Sistem of trauma Care. Arch Surg 1979; 114:455-460.
- 24 Aracil J. Dinámica de sistemas. Madrid: Isdefe; 1995.