expertos y la transforma en modelos transparentes y fácilmente accesibles que puedan ser utilizados como base en la toma de decisiones políticas y para introducir fácilmente hipótesis alternativas. Los planes de gestión urbana pretenden explicar la forma de estabilización de este sector y encaminarlo hacia su revitalización y crecimiento.

La dinámica de sistemas es utilizada como una metodología de motivación eminentemente práctica donde todos los factores presentan influencias interrelacionadas siendo imposible actuar sobre algunos de los problemas sin afectar a los demás. La novedad metodológica importante de este trabajo se encuentra en la explotación sistemática que se hace de los multiplicadores, los cuales no aparecían de manera explícita en la metodología anterior de la dinámica industrial.

2.3.3 WORLD DYNAMICS / Jay W. Forrester. 2. ed. -- Cambridge, Massachusetts : Wright-Allen Press,Inc., c1971, 1973. 144 p.

Este libro fija un modelo dinámico de ámbito mundial presentando el mundo como un sistema dinámico que comprende gran diversidad de variables acumulativas e

interdependientes entre sí, las cuales forman una serie muy compleja de redes de interconexión mutua.

Las principales variables consideradas son la Población y el escenario físico donde ésta se desenvuelve, constituido por los Recursos Naturales y el Medio Ambiente. Un profundo Análisis del sistema del mundo revela que otras variables acumulativas como la Inversión de Capital y La Contaminación del Medio Ambiente no son independientes de la Población, ni son sólamente consecuencias de ésta sino que presentan relaciones de realimentación con ella y con los Recursos Naturales.

La Población, la Contaminación y la Inversión de Capital están creciendo exponencialmente; pero los Recursos Naturales, que son limitados, están siendo agotados también exponencialmente. La tierra es un sistema limitado y es evidente que no puede sostenerse en ella un crecimiento de tipo exponencial durante un tiempo indefinido.

La Población creciente crea presiones para incrementar la industrialización, para cultivar más alimentos y para ocupar más tierra. Pero más alimento, más bienes materiales y más tierra ocupada tienden a incorporar y

permitir mayor población. El crecimiento en población con sus acompañantes industrialización y polución viene de procesos circulares en los que cada sector crece y se alimenta sobre otros sectores. Pero en el tiempo, el crecimiento encuentra límites fijados por la naturaleza; la tierra y los recursos naturales llegan a ser agotados y la capacidad de absorción de polución de la tierra va siendo saturada.

Malthus estableció la oferta de alimentos como una barrera máxima para la interminable expansión de la población. Pero ésta puede no ser la primera barrera para restringir el aumento de la población; la escasez de recursos, la polución o el hacinamiento podrán limitar la población y la industrialización. El más inmediato reto de la sociedad moderna es cómo guiar la transición de crecimiento a equilibrio. A menos que se entienda y se actúe pronto, puede estar sobresaturada por un sistema económico y social que ella misma ha creado pero que no puede controlar.

Las relaciones entre el hombre, su sistema social y la tecnología producen crecimiento, cambio y tensiones que se manifiestan como desigualdades en los niveles de vida y la contaminación creciente, resultante de la aplicación

de la tecnología moderna con el fin de satisfacer las necesidades de una población excesiva. La calidad o nivel de vida varía inversamente con el hacinamiento de la población ya que con éste se presenta mayor criminalidad, menores oportunidades de recreación y demasiada competencia en empleos, entre otros.

El escenario básico muestra una catástrofe de población cerca del año 2.020 por agotamiento de los recursos naturales consumidos a las tasas presentes. La población caerá drásticamente por insuficiencia de medios de subsistencia tal como lo pronosticó Maltus.

Podría pensarse en resolver el problema recurriendo a los avances tecnológicos para tratar de sostener el nivel de vida actual a menores tasas de consumo de los Recursos Naturales. Mediante este intento se muestra una crisis por contaminación y una catástrofe de población, un poco más allá del año 2.030, desencadenada por la impotencia del medio para absorber los niveles de polución ocasionados por el aumento de población y los incrementos en el nivel de tecnología.

Otra alternativa sería intentar la solución al problema mediante políticas de control de población, a través de

la disminución en la tasa de natalidad, acompañadas de una reducción en el uso de los recursos naturales. De tal manera podría promoverse un mejor nivel de vida creando estímulo a mayores incrementos en la inversión de capital como actualmente sucede en los países desarrollados. Este incremento en las inversiones de capital y la aplicación de tecnologías avanzadas llevarían a una crisis de contaminación y a una catástrofe de población cercana al año 2.030.

Se puede concluir de lo anterior que al tratar de resolver el problema las cosas se agravan aún más; ésto es explicable ya que el mundo es un sistema dinámico muy complejo y que las soluciones meramente intuitivas no son suficientes aunque es indispensable la consideración de aspectos subjetivos y análisis cualitativos.

La tecnología moderna, como fué mencionado anteriormente, está demasiado relacionada con la contaminación; en consecuencia, la solución debería buscarse por los lados de la tecnología pero sin deteriorar el medio ambiente. El escenario final muestra un modelo de crecimiento controlado que lleva al equilibrio. Sus principales comportamientos son mostrados a continuación.

Una pequeña caída de población con relación a la de 1970 y un aumento en el nivel de vida el cual se estabiliza en un valor cercano a los alcanzados aproximadamente durante los años 1936 y 1958.

Los recursos naturales continúan agotándose pero a una tasa menor con la cual es posible garantizarle subsistencia a las próximas generaciones. Podría mejorarse la situación de recursos naturales mediante técnicas de reciclaje y sustituciones de los materiales en mayor peligro de desaparición. La Inversión de capital se estabilizaría en niveles en los cuales podría garantizarse que la población no sobrepasaría los niveles de 1970.

La aplicación del modelo de equilibrio implica un cambio total en el desarrollo económico ideal existente en la actualidad. La humanidad se encuentra frente al reto de continuar con una política de agotamiento y despilfarro acompañada de incremento poblacional, contaminación e inversión de capital crecientes, o lograr la prevención de la catástrofe mediante una reconsideración de las metas económicas actuales, los límites de aspiración del bienestar humano y el uso racional de la tecnología moderna creada por el hombre.

2.4 ASPECTOS METODOLOGICOS

2.4.1 ELEMENTS OF THE SYSTEM DYNAMICS METHOD / edited by Jorgen Randers. -- Cambridge, Massachusetts ; London, England: The MIT Press, 1980. -- 320 p

Este volumen se originó en la Conferencia Internacional de Dinámica de Sistemas, Geilo, Noruega, Agosto 8-15 de 1976. Consiste de 14 contribuciones ampliamente re-escritas de las 37 presentadas inicialmente. Recoge los frutos del debate metodológico adelantado por los críticos de la dinámica de sistemas. Ya que el debate continúa, el libro representa el estado del arte en esta escuela de modelamiento.

El trabajo tiene una orientación práctica que intenta presentar guías para el modelamiento utilizando la metodología de Dinámica de Sistemas. Hace énfasis en el procedimiento de construcción del modelo como un proceso recursivo de diseño, test y abandono. Explica su racionalidad y su propio conjunto de reglas y estándares que constituyen un sistema internamente consistente.

Los artículos están agrupados en 6 partes. La Parte I, Paradigma, describe los objetivos buscados en la Dinámica

de sistemas y la racionalidad tras los objetivos seleccionados. La Parte II, Principios aplicados, muestra aplicaciones del citado paradigma.

Las partes remanentes enfocan las cuatro etapas en el proceso de construcción del modelo.

La Parte III, Conceptualización, describe guías para el entendimiento del problema bajo estudio y para estructurar un modelo mental efectivo que sirva como base para el desarrollo del modelo formal. Esta es la etapa más difícil y menos estructurada del proceso.

La Parte IV, Formulación, establece guías acerca de la forma como el entendimiento del mundo real puede ser trasladado en ecuaciones del modelo y valores de parámetros.

La Parte V, Verificación, discute varios métodos para la evaluación del modelo resultante. Finalmente, la Parte VI, se refiere a la implantación de las recomendaciones resultantes.

Algunos de los artículos más importantes y más directamente relacionados con los propósitos de este

estudio han sido referenciados en el numeral 2.1. A continuación serán incluidos otros de los más significativos.

2.4.2 GUIDELINES FOR MODEL CONCEPTUALIZATION / Jorgen Randers. // En: Elements of the system dynamics method / edited by Jorgen Randers. -- Cambridge, Massachusetts ; London, England : The MIT Press, 1980. -- p. 117-139.

Actualmente existe poca literatura disponible acerca del proceso de construcción de modelos dinámicos de sistemas sociales. Estos sistemas son más complejos y menos entendibles que los físicos, ya que, el modelador debe representar aspectos del mundo real que no son fácilmente observables o medibles.

Randers (tabla 6.1 p. 119) presenta el procedimiento de construcción del modelo mediante un proceso de cuatro etapas enfatizando que éstas no se presentan en una secuencia ordenada, ni en la práctica ni idealmente, a causa de su naturaleza repetitiva y del "pre-científico" estado del arte del modelamiento, especialmente durante las primeras etapas donde usualmente suele procederse por ensayo y error.

Las cuatro etapas de construcción del modelo:

1. Conceptualización: Familiarización con el área general del problema, establecimiento de la cuestión a ser tratada, selección del modo de referencia y del horizonte de tiempo, descripción verbal de los ciclos de realimentación asumidos para causar el modo de referencia, definición de los límites del sistema y del nivel de agregación, especificación de los mecanismos básicos en formas de diagrama causal.

2. Formulación: Postulación de la estructura detallada - selección de niveles y tasas- y selección de valores para los parámetros.

3. Evaluación: Prueba de la hipótesis dinámica, verificación de las suposiciones del modelo.

4. Implantación: Prueba de comportamiento del modelo y de sensibilidad a las perturbaciones, prueba de la respuesta a diferentes políticas, identificación de los usuarios potenciales, translación de las ideas del estudio a una forma accesible, difusión de estas ideas.

En la etapa de conceptualización se establece el enfoque del estudio, la perspectiva general y el enfoque de

tiempo, así como las decisiones críticas acerca de la porción de realidad a ser estudiada y la forma de describirla. Su meta es la elaboración de un modelo conceptual que, aunque tosco, sea capaz de direccionar un problema relievante. Progresivamente, se trata de identificar los elementos, los límites del sistema y la descripción primaria de ciclos, entre otros.

Durante la fase de formulación se proyecta la perspectiva seleccionada a una representación formal. El modelo resultante debe proporcionar una descripción precisa, aunque no necesariamente exacta, del sistema seleccionado y debe ser capaz de generar imágenes de futuros alternativos.

En la tercera etapa se somete a prueba la calidad del modelo, tanto su estructura como su funcionamiento. La meta es identificar los puntos débiles para efectuar posteriores mejoras y establecer el alcance de la utilidad del modelo.

Finalmente, la implementación pretende transferir las ideas del estudio a quienes podrían usarlas.

El paradigma de dinámica de sistemas y el compilador DYNAMO pueden ser vistos como herramientas para facilitar la conceptualización y la formulación respectivamente.

Es absolutamente necesario distinguir entre un sistema social y un proceso social, o sea -en terminología de dinámica de sistemas- entre ESTRUCTURA y COMPORTAMIENTO.

Un Proceso Social es una cadena de eventos, esto es, un desarrollo de tiempo de interés el cual es llamado en este contexto "el modo de referencia".

Un sistema social es un conjunto de relaciones causa-efecto. El conjunto más pequeño de relaciones causa-efecto capaz de generar el modo de referencia es considerado como "los mecanismos básicos", los cuales son los elementos centrales del mundo real asumidos como las causas subyacentes tras el desarrollo de tiempo de interés.

El resultado de simulación de un modelo de Dinámica de Sistemas está dirigido a la reproducción del modo de referencia el cual puede servir como una manifestación tangible del desarrollo de tiempo de interés.

En las primeras etapas de construcción del modelo se recomienda enfocarlo como un modelo de proceso social, más que de sistema social. La experiencia muestra que para establecer un modelo útil es más productivo tomar el proceso y preguntar acerca de sus causas que seleccionar una parte del mundo real y preguntar qué comportamiento generará. La fuerte tendencia "natural" de iniciar describiendo el sistema, puede originarse del carácter tangible del sistema cuando es comparada con la elusiva naturaleza de su desarrollo de tiempo y del hecho de que en los reportes finales, la estructura es normalmente presentada antes del comportamiento del modelo.

Tomados juntos, el modo de referencia y los mecanismos básicos constituyen la hipótesis dinámica del estudio. Este modelo inicial puede ser considerado el resultado de la etapa de conceptualización y la base para desarrollar un modelo mejorado.

Finalmente, el autor presenta algunos errores comunes que cometen la mayoría de modeladores y describe diez guías que pueden ayudar a atacar las tendencias naturales hacia el error.

2.4.3 PARAMETER ESTIMATION IN SYSTEM DYNAMICS MODELING
Alan K. Graham. // En: Elements of the system dynamics method / edited by Jorgen Randers. - Cambridge, Massachusetts ; London, England : The MIT Press, 1980. -- p. 143-161.

Actualmente existe un amplio rango de técnicas de estimación específicas desde la observación directa hasta las computaciones ad hoc, pasando por los registros en libros, las consultas a expertos, los testimonios y experiencias personales, los promedios entre valores extremos y la selección de un valor entre ellos. La técnica adecuada depende del contexto entero del proceso de construcción del modelo, especialmente de la formulación de ecuaciones y de su verificación.

Los datos desagregados son considerados como aquellos por debajo del nivel de agregación de las variables del modelo. Las fuentes para estos datos son numerosas y diversas, son todos los conocimientos posibles acerca del comportamiento del sistema. La información descriptiva obtenida directamente a partir de los participantes en el sistema es más detallada que los datos correspondientes a las citadas variables.

La mayor dificultad de la estimación se presenta debido a que la formulación de la estructura y los parámetros del modelo generalmente se efectúan de una manera agregada y

simplificada a tal punto que el proceso caracterizado por los valores de los parámetros no puede ser realmente observado. Como resultado de ésto, los parámetros podrían tener poco significado en el sistema real y para su estimación deberían obtenerse conclusiones basadas en un modelo mental más que en reportes de observaciones.

En el caso de que las observaciones no puedan trasladarse confiablemente en valores de parámetros, el modelo sería demasiado agregado para su estimación a partir de datos desagregados. Dos acciones pueden tomarse:

- Usar otra técnica de estimación (usualmente una técnica estadística) y datos en el nivel de agregación de la estructura del modelo. Sin embargo parece indeseable tratar de estimar una relación simple si el sistema es tan complejo que la opinión del experto no es confiable.

- Reestructurar (usualmente desagregar) el modelo para que sus parámetros correspondan directamente a características observables del sistema. La desagregación usualmente involucra no sólo la subdivisión de ciertos niveles en otros más elementales sino también la adición explícita de ciclos de realimentación que controlan algunos de estos niveles.

Dos desventajas de los métodos estadísticos son: Los datos en el nivel de agregación de variables del modelo deben ser recolectados para propósitos específicos. Y las computaciones requieren asumir las suposiciones de exactitud en la ecuación y adecuación de datos.

El principal escollo es una consecuencia de la suposición implícita que atribuye la discrepancia entre el comportamiento real y el del modelo a los valores de los parámetros en proceso de estimación. Las discrepancias de comportamiento pueden deberse a errores de formulación o a valores de otros parámetros. Cambiar el valor del parámetro puede producir el comportamiento correcto pero por razones erróneas.

Al estimar los parámetros a partir de datos en el nivel de agregación de las variables, el modelo probablemente replicará el comportamiento global del sistema, pero la confianza en él sería mayor si la estimación usara datos desagregados y aún produjera un modelo que replicara el comportamiento agregado, esto es, si replicara el comportamiento real cuando no tuviera necesariamente que hacerlo. La replicación es otra base para incrementar la confianza depositada en el modelo.

Aunque podría seguirse la práctica econométrica común de usar sólo parte de los datos para estimación y el resto para validación, la estrategia comúnmente seguida en Dinámica de Sistemas es usar datos desagregados para estimar los parámetros y reservar datos agregados para validación.

La estimación de parámetros a partir de datos en el nivel de agregación de las variables del modelo es menos robusta que a partir de datos desagregados.

Las variables usualmente seleccionadas son aquellas que son capaces de reproducir las causas del problema analizado y las que pueden ser reconocidas y validadas por los participantes en el sistema. Es preferible el uso de variables en un nivel de agregación cercano al observable por los individuos sin importar si están disponibles los datos estadísticos. El fin último es predecir los resultados cualitativos de un cambio de política.

El artículo finaliza presentando las recomendaciones que se esbozan a continuación.

1. Usar una estructura de modelo que sea lo suficientemente detallada y realista para permitir a los participantes en el sistema ofrecer datos de bajo nivel de agregación de las variables del modelo.

2. Siempre que sea posible, debe realizarse la estimación de parámetros con datos desagregados y reservar datos en el nivel de agregación de las variables del modelo para realizar las pruebas de validación.

3. Utilizar las técnicas basadas en ecuación modelo solo como técnicas secundarias ya que ellas son vulnerables a errores sistemáticos.

4. Usar simulación para identificar las ecuaciones y los valores de los parámetros que son críticos para las salidas del modelo y dedicar mayores esfuerzos sobre esas ecuaciones y parámetros.

2.4.4 SENSITIVITY ANALYSIS IN SYSTEM DYNAMICS / Carsten Tank-Nielsen. // En: Elements of the system dynamic method / edited by Jorgen Randers. -- Cambridge, Massachusetts ; London, England : The MIT Press, 1980. -- p. 187-204.

La sensibilidad es definida como el estudio de las respuestas del modelo a cambios en los valores de los

parámetros y/o de las condiciones iniciales. Cualquier evaluación del modelo debe incluir un estudio de los efectos de la incertidumbre en la representación.

Los modelos de dinámica de sistemas normalmente son insensibles a variaciones en la mayoría de los parámetros. Se trata de identificar los pocos parámetros a los que el modelo es sensible. Los parámetros con valores inherentemente inciertos deberán ser variados en su rango asumido de incertidumbre para ver si cambian el comportamiento del modelo global.

El Análisis de Sensibilidad es una importante y eficiente herramienta para ganar ideas acerca de la relación entre estructura y comportamiento, lo cual sirve de base para incrementar el entendimiento del mundo real, para sugerir políticas efectivas y como un medio para generar nuevas hipótesis.

La fuente de insensibilidad ante cambios en los valores de los parámetros y/o las condiciones iniciales frecuentemente reside en la estructura del modelo; típicamente en las propiedades dinámicas del ciclo de realimentación negativo, el cual tiende a contra-actuar cualquier alteración impuesta por dichos cambios. Además,

el comportamiento del modelo normalmente es generado por unos pocos ciclos de realimentación; los cambios por fuera de estos sitios, en los ciclos no dominantes ó latentes, generalmente no afectarán tal comportamiento.

La sensibilidad depende tanto del propósito del modelo como de sus necesidades de precisión. Este Análisis debe realizarse a través de todo el proceso de modelamiento.

2.4.5 TESTS FOR BUILDING CONFIDENCE IN SYSTEM DYNAMICS MODELS / Jay W. Forrester and Peter M. Senge // En: Studies in the management sciences, v.14, 1980. -- p. 209-228.

Las pruebas de hipótesis estadísticas estándares son inapropiadas o, mejor dicho, suplementarias para los modelos de dinámica de sistemas. No hay una prueba simple que sirva para validar un modelo de este tipo. Su confianza se acumula gradualmente a medida que el modelo pasa más pruebas y cuando son identificados nuevos puntos de correspondencia entre el modelo y la realidad empírica.

La tabla 1 (p. 227) sintetiza tres tipos de pruebas: de estructura del modelo, de comportamiento y de implicaciones de política. Identifica 17 de ellas,