instrumentos. Adicionalmente, la inclusión de algunas innovaciones tales como la estimación dinámica, la validación prospectiva y la componente de incertidumbre, podrían contribuir a su consolidación y a la mayor confiabilidad de sus modelos.

La estimación dinámica debe ser flexible para posibilitar sus ajustes de una manera conveniente a las condiciones cambiantes del entorno. Además, a medida que nueva información va siendo incorporada, las expectativas humanas y sus planes pueden ser modificados, por lo tanto los objetivos del sistema deben ser revisados, lo mismo que los valores de los parámetros.

La validación del modelo pretende verificar qué tan adecuado es éste para cumplir su propósito. Por ello, incorpora un fuerte ingrediente de análisis cualitativo. El propósito perseguido puede ser su utilidad para efectos de planificación y control. En este caso, además de la validación del comportamiento histórico, debe realizarse una validación prospectiva contrastando los resultados del modelo con los objetivos del sistema.

El propósito de este trabajo es presentar una propuesta metodológica adecuada para el desarrollo de modelos de

dinámica de sistemas que permita lograr los objetivos específicos citados a continuación.

- Incorporar convenientemente la componente de incertidumbre en los modelos.

- Incluir la estimación de los parámetros del modelo en forma dinámica posibilitando sus ajustes a través del tiempo a medida que nueva información va estando disponible.

- Lograr una validación del modelo para ajustarse no sólo a las observaciones del comportamiento pasado del sistema sino además para ajustarse en forma dinámica al comportamiento futuro desado.

Adicionalmente, se pretende verificar la adecuación de la metodología propuesta mediante un caso de estudio: el desarrollo de un modelo de apoyo para la formulación de estrategias institucionales.

El interés de esta investigación es fundamentalmente metodológico. La propuesta pretende contribuir como una guía práctica en el proceso de modelamiento. Trata de recoger algunas bases conceptuales subyacentes en la

filosofía de la dinámica de sistemas pero que se encuentran aisladas en la bibliografía disponible y en los trabajos aplicados. Se intenta avanzar en la discusión teórica y hacer algunos aportes especialmente en los tres aspectos citados en los objetivos. Este es el primer paso en una serie de trabajos relacionados con el tema.

Los aportes presentan implicaciones teóricas en cuanto a la concepción y formulación de modelos de dinámica de sistemas e implicaciones prácticas referentes a la aplicación de tales modelos en los procesos de planificación y control.

La metodología empleada en esta investigación parte de la lectura crítica y el análisis de textos y documentos relacionados con la dinámica de sistemas. De la confrontación con otras escuelas de modelamiento, se pasa a la presentación de una propuesta metodológica preliminar y a su aplicación en un caso de estudio: la formulación de un modelo simplificado para la modernización administrativa y el mejoramiento institucional en la Universidad Nacional de Colombia. (Ver Dyner & Díaz 1992)

Mediante un proceso interactivo entre metodología y aplicación se hacen ajustes y depuraciones de la propuesta y se continúa con la revisión del modelo inicial y la conformación de un modelo mejorado para el soporte de estrategias institucionales. Finalmente, se plantea la utilidad del modelo para efectos de planeación y control aplicados a la misma universidad.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

En este capítulo se presenta la literatura más directamente relacionada con el tema de interés para la investigación que se presenta más adelante. Para efectos didácticos, la bibliografía seleccionada y analizada es agrupada en cuatro secciones a saber: 2.1 El problema filosófico. 2.2 Generalidades de la dinámica de sistemas. 2.3 Algunas aplicaciones de la dinámica de sistemas. 2.4 Aspectos metodológicos.

En la sección 2.5, Análisis de la problemática, se establece la pertinencia de la citada bibliografía a la luz del problema de investigación.

2.1 EL PROBLEMA FILOSOFICO

2.1.1 LA LOGICA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA / Karl Popper. Madrid : Tecnos, 1985. -- 451 p.

Este libro pretende hacer un análisis detallado de los métodos de contrastación deductiva y mostrar que los

problemas a que da lugar la lógica inductiva pueden eliminarse sin dar origen a otros nuevos.

En su método de contrastación deductiva de teorías se pueden distinguir cuatro procedimientos, a saber: 1. La coherencia interna del sistema, la cual constituye el requisito más general que han de cumplir los sistemas para que puedan tener alguna utilidad. 2. El estudio de la forma lógica de la teoría. 3. La comparación con otras teorías. 4. La aplicación empírica de las conclusiones que pueden deducirse de ella.

Utilizando las palabras del mismo autor, puede destacarse su tesis como sigue:

> Mi propuesta está basada en una asimetría entre la verificabilidad y la falsabilidad: asimetría que se deriva de la forma lógica de los enunciados universales. Pues éstos no son jamás deductibles de enunciados singulares, pero sí pueden estar en contradicción con éstos últimos. En consecuencia, por medio de inferencias, puramente deductivas es posible arguír de la verdad de enunciados singulares la falsedad de enunciados universales. Una argumentación de esta índole que lleva a la falsedad de enunciados universales, es el único tipo de inferencia estrictamente deductiva que se mueve, como si dijéramos, en 'dirección inductiva': ésto es, de enunciados singulares a universales. ... Su meta no es salvarle la vida a los sistemas insostenibles, sino, por el contrario, elegir el que comparativamente sea más apto, sometiendo a todos a la más áspera lucha por la supervivencia (p. 41).

El autor sostiene que las teorías científicas no son nunca enteramente justificables o verificables pero sí pueden ser contrastables o "corroboradas". Es recomendable tratar de averiguar qué contrastaciones o qué pruebas han soportado, hasta qué punto han demostrado ser aptas para sobrevivir -y ello por haber salido indemnes de las contrastaciones-, en qué medida están corroboradas, con lo cual demuestran su "temple".

El grado de corroboración es determinado no tanto por el número de casos corroborados cuanto por la dureza de las diversas contrastaciones a las que pueda someterse -o se ha sometido- la hipótesis.

La evaluación corroboradora establece ciertas relaciones como la compatibilidad y la incompatibilidad; esta última es considerada como falsación de la teoría. La compatibilidad es necesaria aunque no suficiente para su corroboración.

2.1.2 CONOCIMIENTO OBJETIVO / Karl Popper. -- 2. ed. -- Madrid : Tecnos, 1985. -- 342 p.

Respecto a la objetividad del conocimiento, dice Popper:

> Por tanto, desde el punto de vista del conocimiento objetivo, todas las teorías son conjeturas. ... El método de la ciencia es el método de conjeturas audaces e ingeniosas seguidas por intentos rigurosos de refutarlas. ... nunca podemos justificar racionalmente una teoría -es decir, la pretensión de que conocemos su verdad-, pero, si tenemos suerte podemos justificar racionalmente la preferencia provisional de una teoría sobre todo un conjunto de teorías rivales; es decir, respecto al estado actual de la discusión (p. 82-84)

En el capítulo 5. El Objeto de la Ciencia, se refiere a que ésta consiste en dar explicaciones satisfactorias de todo aquello que nos parece precisar una explicación y para que la explicación no sea ad-hoc habrá de tener una gran variedad de consecuencias contrastables.

Las explicaciones deben utilizar enunciados universales o leyes de la naturaleza, acompañadas de condiciones iniciales. Las leyes universales pueden ser pensadas como descripciones (conjeturales) de propiedades estructurales. Estas leyes universales han de ser enunciados que posean un contenido rico de manera que puedan ser contrastadas, es decir, falsables.

La tarea científica se renueva constantemente. Se puede avanzar eternamente, yendo hacia teorías que tengan un contenido cada vez más rico, un grado de universalidad

cada vez más elevado y un grado de precisión cada vez mayor.

2.1.3 CONJETURAS Y REFUTACIONES / Karl Popper. -- Barcelona: Paidos, 1983. -- 514 p.

En este libro se presenta una imagen de la ciencia como un procedimiento cuya racionalidad consiste en el hecho de que aprendemos de nuestros errores, progresando de problemas sencillos a problemas de creciente profundidad y creciente fertilidad en la sugestión de nuevos problemas. Reconoce nuestra falibilidad pero destaca el hecho de que el conocimiento puede incrementarse y que la ciencia puede progresar, justamente porque aprendemos de nuestros errores. La misma refutación de una teoría es siempre un paso adelante que nos acerca a la verdad.

En el capítulo 10. La verdad, la racionalidad y el desarrollo del conocimiento científico, dice Popper:

> Considera preferible la teoría que nos dice más; ó sea la teoría que contiene mayor cantidad de información ó contenido empírico; que es lógicamente más fuerte; que tiene mayor poder explicativo y predictivo; y que, por ende, puede ser probada más severamente comparando los hechos predichos con las observaciones. En resumen, preferimos una teoría interesante, audaz e informativa en alto grado, a una teoría trivial. (p. 266-267).

Y respecto al objetivo de la ciencia, dice el autor:

> ... la verdad no es el único objetivo de la ciencia. Queremos más que la mera verdad: lo que buscamos es una verdad interesante, verdad a la cual es difícil llegar. ... una verdad con un alto grado de poder explicativo ... La mera verdad no basta, lo que buscamos son respuestas a nuestros problemas. ... Y si nos interesan las conjeturas audaces, aunque pronto se descubra que son falsas, este interés se debe a nuestra convicción metodológica de que solo con ayuda de tales conjeturas audaces podemos descubrir verdades interesantes y atinentes a nuestros problemas (p. 281-282).

La ciencia parte de problemas y no de observaciones aunque éstas pueden dar origen a un problema, especialmente si son inesperadas, vale decir, si chocan con nuestras expectativas o con nuestras teorías.

Popper (1983) enuncia seis tipos de casos en los cuales puede decirse que una teoría T1 ha sido superada por otra T2: T2 hace afirmaciones más precisas, las cuales soportan pruebas más precisas. T2 toma en cuenta y explica más hechos. T2 describe, o explica, los hechos con mayor detalle. T2 ha resistido contrastes en los que T1 ha fracasado. T2 ha sugerido nuevas pruebas experimentales en las que no se había pensado antes y ha resistido esas pruebas. T2 ha unificado ó conectado

diversos problemas hasta ese momento desvinculados entre sí.

Para el desarrollo del conocimiento, la nueva teoría debe cumplir los tres (3) requisitos descritos a continuación.

1. Partir de una idea simple, nueva, poderosa y unificadora acerca de alguna conexión ó relación entre cosas, ó hechos ó nuevas "entidades teóricas" hasta ahora inconexas. La simplicidad, ya que presupone una teoría universal, parece estar íntimanente vinculada con la idea de que nuestras teorías deben describir las propiedades estructurales del mundo.

2. Incorporar nuevas consecuencias verificables independientemente. Sugerir nuevas pruebas y experimentos.

3. Salir con éxito de nuevas y severas pruebas. Este es un "requisito material", o sea, de éxito empírico.

Los dos primeros requisitos, son "requisitos formales" necesarios para restringir el ámbito de elección entre las soluciones posibles; son indispensables para decidir si la teoría en cuestión será ó no aceptada como

candidata seria para ser sometida al examen de las pruebas empíricas; si es o no una teoría interesante y promisoria.

Si satisface el segundo requisito, la nueva teoría representará un potencial paso adelante, sea cual fuere el resultado de las nuevas pruebas. Pues será mejor verificable que la teoría anterior: basta para asegurarlo el hecho de que explique esta última, y que, además dé origen a nuevas pruebas. También asegura que la nueva teoría, en cierta medida, será fructífera como instrumento de exploración, sugerirá nuevos experimentos, y aún cuando éstos conduzcan inmediatamente a la refutación de la teoría, nuestro conocimiento fáctico habrá aumentado con los resultados inesperados de los nuevos experimentos. Adicionalmente, nos enfrentará con nuevos problemas que deberán ser resueltos mediante nuevas teorías explicativas.

Toda refutación debe ser considerada como un éxito; no sólamente del científico que refutó la teoría, sino también de quien creó la teoría refutada y, así, sugirió en primera instancia, aunque solo indirectamente, el experimento refutador.

Sin embargo, para que continúe el progreso de la ciencia y no decline su racionalidad, no sólo se necesitan refutaciones exitosas sino también éxitos positivos. Al respecto, dice Popper:

> ...no debemos tender a elaborar teorías que sean meros instrumentos para la exploración de hechos, sino que debemos tratar de encontrar genuinas teorías explicativas: debemos hacer genuinas conjeturas acerca de la estructura del mundo. En resumen, no debemos contentarnos con los dos primeros requisitos. (p. 299).

Y con relación a su punto de vista epistemológico, dice:

> Resumiré ahora brevemente nuestros resultados con respecto a la epistemología de los dos grupos de filósofos a los que me he referido, los verificacionistas y los refutacionistas. Mientras que los verificacionistas o inductivistas tratan en vano de demostrar que es posible justificar, o al menos, establecer como probables (y de esta manera estimular, con su fracaso, la retirada al irracionalismo) las creencias científicas, nosotros, los miembros del otro grupo, ni siquiera deseamos una teoría altamente probable. Al identificar la racionalidad con la actitud crítica, buscamos teorías que, por falibles que sean, progresen más allá de sus predecesoras; lo cual significa que pueden ser probadas más severamente y resistir algunos de los nuevos contrastes. Y mientras que los verificacionistas trabajan en vano para descubrir argumentos categóricos válidos en apoyo de sus creencias, nosotros, por nuestra parte, estamos convencidos de que la racionalidad de una teoría reside en el hecho de que la elegimos porque es mejor que sus predecesoras, porque la podemos someter a contrastes más severos, porque hasta puede resistirlos -si somos afortunados- y porque,

de este modo, puede aproximarnos más a la verdad. (p. 302-303)

2.1.4 SIMULACION DE SISTEMAS : diseño, desarrollo e implantación / Robert E. Shannon. -- México : Trillas, 1988, 428 p.

C. R. Blyth, citado por Shannon (1988), señala el conocido dilema del método científico: "... el científico necesita ser objetivo, pero la manera en que progresa es siguiendo los discernimientos subjetivos".

Blyth sugiere que el método científico consiste de los procesos de construcción y verificación. La construcción se hace con base en la intuición, el discernimiento, la observación, la opinión, las adivinanzas o imprecisiones, las corazonadas; este proceso es sumamente subjetivo. La verificación es casi exclusivamente objetiva; su propósito es determinar si el modelo puede sobrevivir a las pruebas objetivas frente a la realidad sin tener el apoyo de nuestros prejuicios.

Por consiguiente, se tienen los pasos alternos de construcción - verificación - construcción - verificación ... donde la construcción es el proceso de fabricación del modelo y la verificación es el proceso de comprobarlo contra la realidad para determinar su concordancia.

LO RACIONALISTA VS. LO EMPIRICO: Ambas visiones del conocimiento están de acuerdo en que la ciencia comienza con la observación del sistema bajo estudio pero los racionalistas están estrechamente asociados con las matemáticas y la lógica. Sostienen que un modelo es simplemente un sistema de deducciones lógicas que se derivan de un conjunto de juicios, los cuales pueden o no estar abiertos a la verificación empírica o recurrir a la experiencia objetiva. LLevado a su forma más pura, el racionalismo finalmente descansa sobre lo que Emmanuel Kant llamó "juicios sintéticos a priori", juicios de verdad incuestionable que sólamente tienen que ser manifestados para reconocerse como obvios.

El empírico se encuentra al otro extremo del espectro filosófico. El empirismo se niega a admitir cualquier juicio o suposición que no pueda verificarse independientemente mediante experimentos o análisis de datos empíricos. En su forma mas pura, el empirismo exige empezar con hechos verificables o probados y no con suposiciones.

PRAGMATISMO ABSOLUTO: En su forma pura, esta visión, básicamente sostiene: "Estoy construyendo el modelo para

un propósito o uso específico. Si éste satisface ese propósito, entonces es un modelo válido". No se preocupa demasiado por la validez de la estructura interna de la caja negra o modelo, sino que sólo considera las relaciones de entrada-salida.

Schrank y Holt proponen:

> que se adopte el criterio de utilidad del modelo, como la clave de su validación, cambiando así el énfasis de una concepción de su verdad abstracta o falsedad a la cuestión referente a si los errores del modelo lo hacen demasiado débil para cumplir con los propósitos propuestos.

ENFOQUE UTILITARISTA: Rara vez se encuentra en forma pura una de estas tres posiciones. Los argumentos y la controversia, generalmente tratan acerca de cuestiones de énfasis y de grado. Naylor y Fingers sugieren un proceso de verificación de etapas múltiples que incorpora los tres puntos de vista en lo que podría llamarse un enfoque utilitarista.

- Enfoque racionalista modificado: Recomienda buscar la validez nominal de la estructura interna del modelo con base en un conocimiento a priori, en la investigación pasada y en la teoría existente; observar cada uno de los procesos simples modelados; rechazar cualquier hipótesis

que se crea falsa; y no insistir en que cada hipótesis sea verificable empíricamente pero sí razonable y con sentido.

- Validar la estructura interna del modelo: Probando empíricamente, cuando sea posible, la hipótesis usada. Verificar el mayor número de suposiciones y parámetros que sobrevivieron a la etapa anterior, sometiéndolas a una fuerte prueba empírica.

- Verificar la habilidad del modelo para predecir el comportamiento del sistema real. El modelo es útil si hace lo que se propone.

Las tres etapas ocurren de manera iterativa durante el proceso de modelamiento. Aunque el modelo o una de sus hipótesis sea refutado por los datos empíricos, generalmente no es rechazado a menos que se encuentre disponible un mejor modelo o hipótesis; normalmente se procede a su redefinición o refinamiento. Existe continua interacción entre las tres filosofías.

2.1.5 VERIFICACION DE MODELOS DE SIMULACION EN COMPUTADORA / Naylor y Finger. // En: Management Science, No.14 octubre de 1967. p. 92-101.

La validación de modelos de simulación es quizá uno de los problemas más complejos que implica dificultades de diferentes tipos tales como filosóficas, teóricas, estadísticas y prácticas.

La veracidad del modelo supone que se ha establecido un conjunto de criterios para diferenciar entre los modelos que son verdaderos y los que son falsos, y ademas, que se posee la habilidad de aplicar estos criterios a cualquier modelo dado.

El racionalismo pretende encontrar un conjunto de suposiciones básicas en las que se fundamenta el comportamiento del sistema en particular. El empirismo exige partir de hechos y no de suposiciones. La economía positiva afirma que la validez del modelo depende no de la validez de las suposiciones sino de la capacidad para predecir su comportamiento.

El procedimiento de validación en etapas múltiples -presentado en este artículo- asume que cada una de las

tres posiciones metodológicas anteriores son necesarias pero ninguna es suficiente por sí misma.

1. Formulación de un conjunto de postulados hipotéticos que describan el comportamiento del sistema de interés. Se requiere la búsqueda diligente de los "sintéticos a priori" de Kant, utilizando toda la información disponible tal como los conocimientos generales del sistema o de otros similares.

2. Intentar "validar" los postulados sobre los que se basa el modelo. Cualquier hipótesis que pueda rechazarse sobre una base a priori resulta menos costosa que una corroboración estadística formal. La comprobación de suposiciones es más barata que la derivación y comprobación de predicciones.

3. Probar la capacidad del modelo para predecir el comportamiento del sistema.

Para detectar errores en el modelo, especialmente en modelos complejos, omitir las dos primeras fases puede resultar muy costoso ya que los errores no serían evidentes sino hasta después de haber efectuado muchas ejecuciones de la simulación. Al respecto, dice el

autor: "La simulación en computadora tiene más probabilidades de utilizarse cuando son más notables los ahorros derivados del mejoramiento del modelo en las primeras etapas" (p.171).

2.2 GENERALIDADES DE LA DINAMICA DE SISTEMAS

2.2.1 THE UNAVOIDABLE A PRIORI / Donella H. Meadows. // En: elements of the system dynamics method / edited by Jorgen Randers. -- Cambridge, Massachusetts ; London, England : The MIT Press, 1980. -- p. 23-57.

Inicialmente son presentadas las pre-concepciones implícitas subyacentes bajo las diferentes escuelas metodológicas de modelamiento. Cada una de estas escuelas tiene sus propios conjuntos específicos de teorías, técnicas matemáticas, lenguajes y procedimientos aceptados para construir y validar sus modelos.

Seguidamente el artículo presenta una caracterización de los métodos de modelamiento en general y, particularmente, de la Dinámica de Sistemas y la Econometría, profundizando sobre los problemas y las limitaciones de cada una de éstos.