

Indagación de situaciones complejas mediante la dinámica de sistemas

Tomo 1: fundamentos

Martin Schaffernicht

(Versión 25/8/2008)

Para Paula, Gabriela y Magdalena.

Prólogo

De nuestros días, se ha hecho un lugar común decir que el mundo es cada vez más globalizado y complejo, y que vivimos en una época de sobreoferta de informaciones. Se nos advierte sobre la brecha digital que amenaza de excluir a los que no tienen acceso al computador del desarrollo futuro.

Como seres humanos, tenemos la esperanza de ser libres, libres de decidir y de actuar. Esta libertad deriva de la libertad de pensar. Sólo quien piensa libre puede ser libre. Pensar libre es tener ideas claras sobre “las cosas”, saber reconocer cuando una idea es dudosa, saber lo que uno no comprende y saber indagar. No se puede comprender todo, pero es peor no darse cuenta.

La humanidad ha generado diversas disciplinas que ayudan a pensar libremente. Una de ellas es la dinámica de sistemas.

Fundado durante los años '50 del siglo XX, la dinámica de sistemas es una disciplina que se apoya en algunas ideas básicas:

- vivimos en un mundo en el cual la mayor parte de las cosas cambian en el tiempo;
- nuestras acciones de hoy afectan, de múltiples maneras, las situaciones que tengamos que enfrentar mañana; asimismo, muchos de nuestros problemas de hoy son consecuencias de nuestras acciones de ayer;
- es nuestra manera de pensar en las cosas la que determina nuestras acciones;
- nuestro juicio intuitivo es fácilmente engañado por estas situaciones complejas; construir representaciones sistemáticamente y someterlas a la prueba de la simulación mejora nuestra comprensión, nos permite pensar mejor y nos da la oportunidad de actuar mejor.

Si bien cada una de estas ideas es bastante accesible al sentido común, la *praxis* de esta disciplina requiere una cierta destreza en el manejo de sus técnicas, que solamente se forma en el ejercicio práctico críticamente reflejado.

Existen excelentes textos para estudiar la dinámica de sistemas; lamentablemente están redactados en inglés. Las pocas excepciones son de carácter introductorio o eminentemente de ejercicio. La comunidad hispanohablante carecía de un texto que presente los aspectos teóricos y técnicos de la disciplina.

Este libro y el material que lo acompaña, es un intento por cerrar una primera parte de esta brecha. Se concibió para las personas deseosas de introducirse en la dinámica de sistemas con sus supuestos paradigmáticos,

sus conceptos y sus técnicas. El presente texto no repite lo que los manuales anteriores ya han escrito; más bien, presenta el resto.

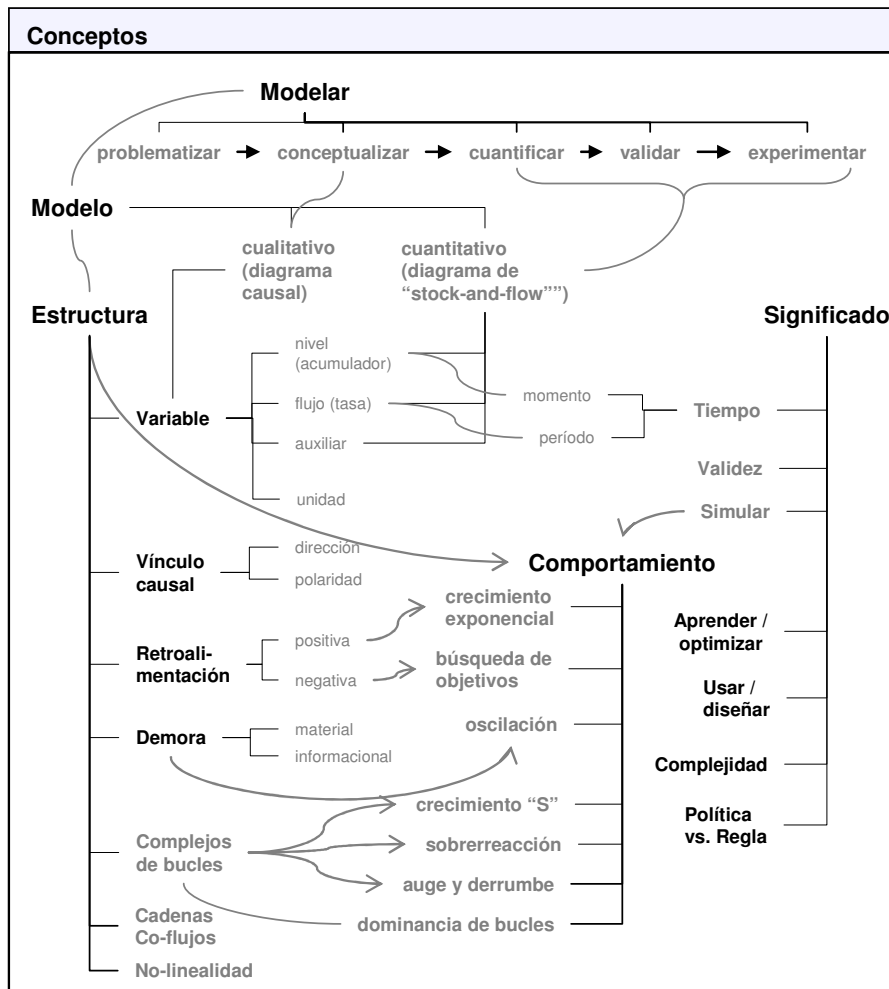
En su primera parte, se ofrece un acercamiento desde el ámbito metodológico. Luego el lector es introducido en el dominio de la causalidad circular y el arte de los diagramas de bucle causal. También se pone gran énfasis en aprender, detalladamente, sobre los dos tipos fundamentales de variables: acumuladores y los flujos. Esto sienta las bases para avanzar hacia estructuras de más alto nivel.

La segunda parte está dedicada al estudio de la estructura y conducta de seis formas básicas de sistema retroalimentado. El lector adquiere las bases que le permitirán reconocer determinados patrones en las situaciones que enfrenta.

La tercera parte agrega estructuras más específicas para enriquecer el vocabulario sistémico.

Para facilitar un trabajo productivo, cada unidad cuenta con una sección de orientación que explica los objetivos, los conceptos y las competencias. Éstos se declaran en forma de diagramas ya que el manejo de diagramas es muy importante en nuestra disciplina.

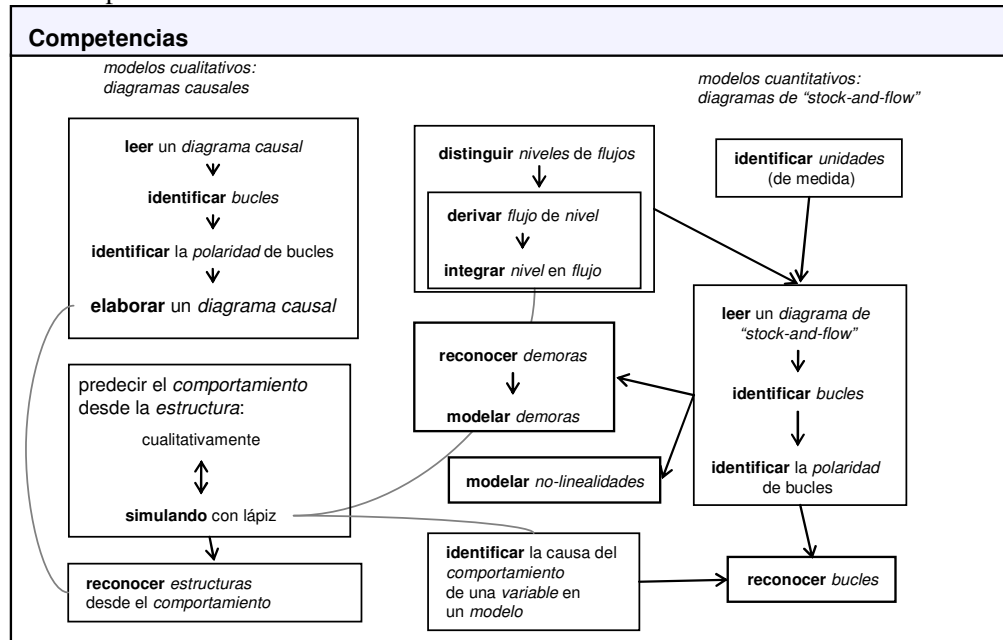
Los conceptos del libro son:



En este diagrama, aparecen todos los conceptos tratados en este libro. Los conceptos más genéricos están en fuentes de tamaño mayor. Hay tres tipos de vínculos entre ellos:

Las líneas rectas negras representan a la descomposición conceptual, muy comparable a la arborescencia de los archivos en un computador o los capítulos y sub-capítulos en un libro. Las flechas grises significan "causa"; por ejemplo, "Estructura causa Comportamiento". Las líneas simples en gris expresan un lazo de tipo "tiene que ver con". En cada capítulo, el diagrama correspondiente mostrará los conceptos propios del capítulo en su contexto global.

Las competencias son:



En este diagrama, también hay líneas grises, que también significan “tiene que ver con”. Las flechas negras indican relaciones de precedencia. Por ejemplo, poder “leer un diagrama causal” viene antes de “identificar bucles”. Los verbos aparecen en letras negras, para subrayar el aspecto “hacer”. Las palabras en cursivas, son conceptos que forman parte también del mapa de conceptos del libro.

Hay material interactivo que insistimos mucho el lector use durante el estudio de cada capítulo. Los modelos de simulación pueden ser descargados del sitio web del libro (dinamicasistemas.atalca.cl/libro). Cada unidad termina con un resumen, referencias bibliográficas y recomendaciones para ahondar en los temas.

Apropiarse del contenido de este libro habilitará al lector a “hablar” dinámica de sistemas: podrá usar y estudiar modelos de simulación, podrá estudiar diversos textos más avanzados y podrá dar los primeros pasos para modelar las situaciones que enfrenta.

Lamentablemente, estudiar este texto no es sino un paso inicial en la senda del aprendizaje de la dinámica de sistemas. A partir de esta etapa, hay dos direcciones del aprendizaje a seguir: la dirección horizontal y la vertical. En la dirección horizontal, se aprenderán más modelos. Como el lector podrá imaginarse, en casi 50 años de desarrollo, se ha generado un número impresionante de modelos. También se ha intentado sintetizar las estructuras más recurrentes en modelos genéricos. Su estudio es como ir ampliando el vocabulario. Después de haberse apropiado de los contenidos del Tomo 1, el lector estará capacitado para realizar este aprendizaje solo.

El sentido vertical agrega otros tipos de competencias. Más allá de llegar a comprender un modelo y sacarle provecho, la creación de nuevos modelos es una habilidad de más alto nivel, con sus propias reglas del arte.

Haber logrado desarrollar y validar un modelo de una situación es haber creado un conocimiento nuevo, un acto que da testimonio de la capacidad de pensar libremente.

El presente texto está enfocado en los conceptos de la dinámica de sistemas y a su comprensión práctica. Un segundo tomo será dedicado a la generación de modelos confiables; en el, se revisarán los métodos para la conceptualización, la cuantificación y la validación de modelos.

Espero sinceramente que este texto sirva como ayuda para los primeros pasos del camino hacia esta libertad.

Martin Schaffernicht

Contenido

PRÓLOGO	II
CONTENIDO	VII
PARTE 1 – HACIA UN LENGUAJE PARA PENSAR CÍCLICAMENTE	1
1. ¿POR QUÉ ESTUDIAR LA DINÁMICA DE SISTEMAS?	3
<i>Sobre este capítulo</i>	3
<i>El desafío</i>	4
<i>El pensamiento y la acción sistémicos</i>	9
<i>Lo que modelamos en dinámica de sistemas</i>	15
<i>Bloques de construcción mentales para el pensamiento sistémico</i>	25
<i>Modelar para aprender y saber</i>	28
<i>Haciendo el punto</i>	28
2. MODELOS Y MODELAR.....	33
<i>Sobre este capítulo</i>	33
<i>Fases de un proyecto de modelamiento</i>	34
<i>Fuentes de datos</i>	39
<i>Documentación</i>	40
<i>Hacia el modelamiento: criterios para evaluar un modelo</i>	44
<i>Haciendo el punto</i>	44
3. CAUSALIDAD Y DIAGRAMAS DE BUCLE CAUSAL.....	47
<i>Sobre este capítulo</i>	47
<i>Introducción</i>	48
<i>Definiciones</i>	49
<i>Componentes de un Diagrama de Bucle Causal</i>	50
<i>10 Reglas para un buen modelado</i>	79
<i>Haciendo el punto</i>	89
<i>Soluciones de los Ejercicios</i>	91
<i>Conclusión práctica: los criterios para evaluar un modelo</i>	103
4. FLUJOS Y ACUMULADORES.....	105
<i>Sobre este capítulo</i>	105
<i>La interpretación matemática de niveles y flujos</i>	116
<i>Aproximación usando reglas</i>	117
<i>La relación entre flujos y acumuladores</i>	125
<i>Integración gráfica</i>	126
<i>Derivación gráfica</i>	127
<i>Formación de la intuición</i>	127
<i>Haciendo el punto</i>	140
PARTE 2 – LAS ESTRUCTURAS DE RETROALIMENTACIÓN Y SUS CONDUCTAS TÍPICAS	143
<i>Introducción a la parte 2</i>	145
<i>Acerca de las estructuras básicas y su comportamiento</i>	146
5. RETROALIMENTACIÓN POSITIVA Y AMPLIFICACIÓN.....	149
<i>Presentación conceptual</i>	149
<i>Elaboración práctica</i>	152
6. RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA Y ESTABILIZACIÓN.....	159
<i>Presentación conceptual</i>	159
<i>Elaboración práctica</i>	162
7. OSCILACIÓN	171
<i>Presentación conceptual</i>	171
<i>Elaboración práctica</i>	173

8.	CRECIMIENTO EN “S”	179
	<i>Presentación conceptual</i>	179
	<i>Elaboración práctica</i>	180
	<i>Ejercicio de modelamiento</i>	186
9.	SOBRERREACCIÓN.....	187
	<i>Presentación conceptual</i>	187
	<i>Elaboración práctica</i>	188
10.	AUGE Y DERRUMBE.....	195
	<i>Presentación conceptual</i>	195
	<i>Elaboración práctica</i>	196
	<i>El punto sobre la parte 2</i>	204
PARTE 3 – ESTRUCTURAS ESPECÍFICAS		205
11.	DEMORAS	207
	<i>Acercamiento</i>	208
	<i>Definición del Concepto</i>	209
	<i>Tipos de Demora</i>	210
	<i>Haciendo el punto</i>	225
12.	CADENAS Y COFLUJOS.....	227
	<i>Sobre este capítulo</i>	227
	<i>Cadenas</i>	228
	<i>Elaboración práctica: maduración de recursos humanos</i>	231
	<i>Coflujos</i>	238
	<i>Haciendo el punto</i>	241
13.	NO LINEALIDADES.....	243
	<i>Sobre este capítulo</i>	243
	<i>La no linealidad</i>	244
	<i>Haciendo el punto</i>	254
14.	ACERCA DE LA DOMINANCIA DE CIERTOS BUCLES	255
	<i>Sobre este capítulo</i>	255
	<i>Bucles y dominancia</i>	256
	<i>Haciendo el punto</i>	258
15.	DETECTAR BUCLES DE RETROALIMENTACIÓN	259
	<i>Sobre este capítulo</i>	259
	<i>Detección metódica de bucles en modelos</i>	260
	<i>Experimentos con el modelo</i>	260
	<i>Más allá del modelo</i>	264
	<i>Haciendo el punto</i>	265
EPÍLOGO.....		267
BIBLIOGRAFÍA		269
GLOSARIO.....		272

*Parte 1 –
Hacia un lenguaje
para pensar
cíclicamente*

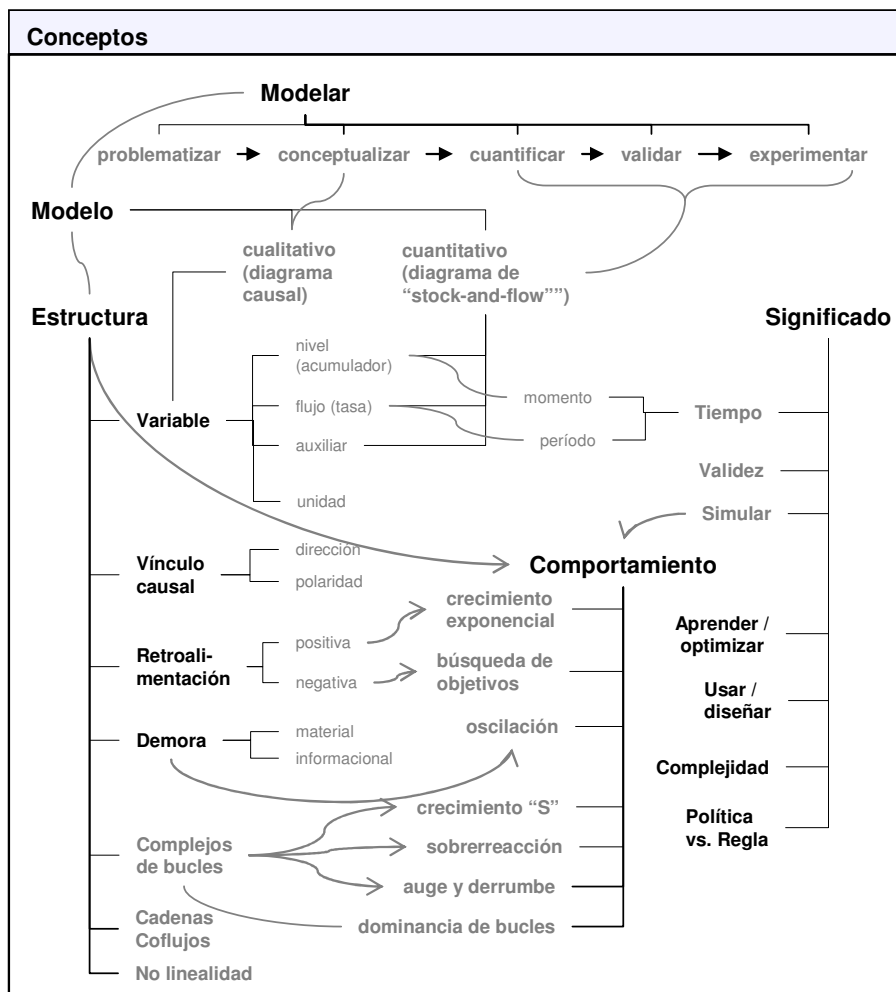
1. ¿Por qué estudiar la dinámica de sistemas?

Sobre este capítulo

Objetivos

Aprender la dinámica de sistemas requiere tiempo y esfuerzo. Este capítulo tiene el objetivo de dar una vista panorámica de la disciplina y, a la vez, dar buenas razones para estudiarla:

Conceptos



El desafío

¿Cuántas veces nuestros intentos por superar un problema terminan empeorando la situación o nos dejan con un nuevo problema (o quizás una nueva manifestación del mismo problema)? Aquí vamos a discutir cuatro fenómenos relevantes:

Resistencia frente a nuevas políticas de decisión

Llamamos “políticas” a los conjuntos de reglas de decisión o de acción que se emplean para hacer frente a las situaciones. Por ejemplo, cada persona tiene una “política” de alimentación; cada empresa tiene una política de promoción; cada país tiene una política frente al desarrollo de la economía no oficial.

¿Cuántas veces algún sistema parece reaccionar de manera que se contradice exactamente con lo que se busca obtener?

Ejemplos:

- en la industria de automóviles, se han introducido muchas innovaciones que aumenten la seguridad de los pasajeros, aumentando, por ejemplo, la estabilidad del vehículo en la vía. Sin embargo, no retroceden los accidentes (porque los conductores ahora van más rápido).
- mucho se ha intentado hacer para combatir el desempleo desde los años '70; sin embargo, de alguna manera se mantuvo durante más de 3 décadas.
- mucho se está intentado contra el terrorismo internacional. ¿Con éxito?

Cuando un sistema sigue comportándose de manera indeseada o vuelve a hacerlo después de mejoras iniciales, hablamos de “resistencia frente a nuevas políticas”. Lo que al actor le aparece como una “resistencia”, es la consecuencia de una comprensión insuficiente de la situación o bien del “sistema”. Hay varias posibilidades que no se excluyen mutuamente:

- la estructura del sistema incluye vías de efectos causales que el actor no tiene contemplado y que facultan al “sistema” a volver a su estado o mantenerse en él;
- el comportamiento generado por la estructura es demasiado complejo para haber sido anticipado correctamente.

¿Cómo descubrir estas vías de vínculos causales?



Seguramente conoce Usted unos ejemplos de *resistencia a nuevas políticas*. Visite el [sitio web del libro](#) para ver los que otros han expresado y para contribuir ejemplos propios.

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

Efectos laterales

Nuestras acciones tienen efectos - ¿quién lo dudaría? La idea detrás del término de “efecto *lateral*” es que algunos de los efectos de nuestras acciones nos sorprenden, porque no los teníamos contemplados: puesto que surgen al lado de lo que tuvimos previsto, los llamamos “laterales”.

¿Cuántas veces una intervención tiene efectos imprevistos que generan resistencia o nuevos problemas?

Ejemplos:

- el progreso industrial genera contaminación.
- el crecimiento económico y el progreso médico contribuyen a la explosión de la población y la masificación de la miseria.
- por dejar de comer chocolate, uno se pone a fumar más.
- para escapar a la dependencia de los proveedores de los recursos de generación de electricidad, algunos países adoptaron la energía nuclear. En este entonces, se quiso creer que ya se iba a desarrollar una manera de tratar los desechos nucleares, y no se incorporó su tratamiento en el cálculo de costos. Ahora empezamos a ver que los desechos deberán ser vigilados por milenios, y que el costo de la energía nuclear *Sí* debería incluir esta parte. Sin embargo, algunos países (por ejemplo Francia) generan la mayor parte de su energía con plantas nucleares y no pueden cambiar su estrategia en un plazo de una o dos generaciones humanas. Esta es una nueva dependencia que no estaba contemplada.
- Hasta fines de los '90, Chile generó buena parte de su energía eléctrica con plantas hidráulicas. Luego, el surgimiento de las variaciones de lluvia (El Niño – La Niña) generó problemas de suministro en años secos. Para no depender tanto del agua, apareció como buena opción la importación de gas natural de Argentina, país que cuenta con amplias reservas. Sin embargo, cuando por causas de la crisis Argentina, este país adoptó nuevas políticas de abastecimiento interno, Chile tuvo que enfrentar nuevamente una situación problemática.

Los “efectos laterales” son laterales solamente para el actor quien no los tenía contemplados. Son consecuencia de las dos posibles faltas descritas en la sección sobre resistencia a políticas: no reconocer vías causales y/o no anticipar correctamente el tipo de comportamiento. En ninguno de los ejemplos mencionados, los actores descuidaron intencionalmente unos aspectos: a veces no se dan cuenta, y otras veces se estiman irrelevantes (más de esto en la sección sobre ceguera).



Seguramente conoce Usted unos ejemplos de *efecto lateral*. Visite el [sitio web del libro](#) para ver los que otros han expresado y para contribuir ejemplos propios.

Comportamiento contraintuitivo

Todo “sistema” es un asunto dinámico, algo que hace cosas, tiene “comportamiento”. Frente a él, hay actores que quieren o deben asegurar que el comportamiento no se escape de ciertos límites. Cuando intervienen en este sentido, intentan anticipar el comportamiento típico: “si yo hago *esto*, entonces el otro hará *esto otro...*”. Muchas veces, nuestra apreciación intuitiva del sistema tiene defectos y lo que realmente el sistema hace nos parece contraintuitivo.

¿Cuántas veces el sistema reacciona de una manera completamente opuesta a nuestras expectativas?

Ejemplos:

- para reducir los problemas de pobreza en las ciudades de EE.UU en los '60, se construyen viviendas de bajo costo (pensando que así la gente tendría vivienda y no se iría, abandonando la ciudad a gente más pobre aún). ¿Suena plausible? Sin embargo, los problemas aumentaron: los barrios que se lanzaron en la construcción de estas viviendas, rápidamente atrajeron poblaciones más pobres; los que pudieron, se salvaron moviéndose a otra parte, y en efecto los problemas de pobreza y de criminalidad empeoraron.
- en algunos lugares universitarios, se observó que los estudiantes se ausentan en una asignatura A para prepararse a pruebas en otra asignatura B. Es una conducta indeseada por ser muy poco constante en el trabajo de cada asignatura. Para reducir la falta a clases en A por prueba en B, se inventó la "semana de pruebas", semana durante la cual se realizan todas las pruebas y no hay clase: así no hay la posibilidad de faltar en A para prepararse para B (y viceversa). ¿Suena intuitivo? Sin embargo, ahora los alumnos faltan en A y B en la semana antes de la semana de prueba, y también en la semana posterior debido al cansancio de la concentración de pruebas.
- Santiago de Chile cuenta con más de 6 millones de habitantes que tienen cada vez más automóviles. Sin la posibilidad de ampliar la red de calles, ello resulta en crecientes problemas de congestión vehicular. Para combatir esta congestión, en Santiago se decidió cobrar por el uso de las carreteras urbanas; la idea es que al tener que pagar, muchas personas dejarían de usar su automóvil personal (compartirían autos o usarían la locomoción pública). ¿Suena intuitivo? El día de hoy, es muy temprano para sacar conclusiones, pero: ¿qué harán las personas cuya elasticidad respecto del costo del uso de las autopistas urbanas las hace preferir renunciar a otras cosas? ¿Cuántas de las otras personas usarán las otras calles, prefiriendo pagar con tiempo (de taco) al uso del transporte público?
- Hace unas 4 décadas, China introdujo una política firme de control de natalidad, con el propósito de frenar la explosión poblacional: una familia no tiene derecho a más de un descendiente. ¿Suena intuitivo? Sin embargo, en China es muy importante tener un descendiente masculino; por lo cual muchos progenitores, al darse cuenta de que su descendiente era de sexo femenino, terminaron con su vida, para poder

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

intentarlo otra vez. 40 años después, faltan millones de mujeres en relación con la cantidad de hombres.

Hablar de “contraintuitivo” supone implícitamente que hay una “intuición” y que el sistema se comporta de otra manera que la intuida. Esto se debe nuevamente a las dos insuficiencias (no reconocer vías causales y/o no traducirlas correctamente en comportamiento anticipado). Lea más sobre el tema en "Business Dynamics" (Sterman, 2002), capítulo 1.



Seguramente conoce Usted unos ejemplos de *comportamiento contraintuitivo*. Visite el [sitio web del libro](#) para ver los que otros han expresado y para contribuir ejemplos propios.

La ceguera o miopía del actor situado

En los diversos papeles que desempeñamos en la vida, nos importan - por motivación interna o por obligación - determinadas condiciones en nuestro entorno. Por ejemplo, un gerente de producción debe cuidar la calidad de los productos, un gerente de finanzas el presupuesto, un responsable de carabineros la seguridad...

Cuando algo no es como necesitamos o deseamos que sea, entonces actuamos de modo de reducir la diferencia: a veces lo llamamos corregir; otras veces es más bien aprovechar una oportunidad. Esto, lo hacemos intuitivamente en los casos rutinarios, que ya nos son tan familiares que no necesitamos pensar en ellos para hacerlos. Prácticamente todo lo que hacemos tiene este aspecto de vigilar-y-corregir: caminar, andar en bicicleta, mover los ojos sobre el texto que se lee... y en estas acciones intuitivas, tomamos en cuenta ciertos aspectos y otros no. También cuando tenemos que reflexionar para saber lo que vamos a hacer, nuestra manera de mirar la situación nos la muestra de un modo particular y por esto mismo puede ser que no vemos todo lo que sería importante.

Intuitivamente, asociamos causalmente lo que aparece junto en el tiempo: son fácilmente asociados

- un relámpago y un trueno a los 0,5 segundos;
- una fiesta con exceso de consumo de alcohol y un dolor de cabeza al próximo día;
- una siesta en la playa en pleno sol y una piel quemada;
- una campaña de publicidad y un cambio en las ventas.

Lo lejano en el tiempo nos dificulta la percepción:

- Si Usted tiene una prueba de estadística en dos días y la prueba de dinámica de sistemas en dos semanas, ¿irá a la clase de dinámica de sistemas mañana?

- Si Usted ha conocido (en la fiesta mencionada arriba) una persona sumamente atractiva y la atracción es mutua, ¿la posibilidad de tener un nacimiento en nueve meses interviene en su conducta sexual?
- Si Usted fuma, ¿le importa el riesgo de tener una enfermedad grave 30 años más tarde?
- Las emisiones industriales que causan o agravan el cambio climático, que a su vez expone a graves riesgos a nuestros hijos e hijas (que Usted quizás aún no tiene), ¿nos debe importar?
- Cuando Francia impuso muy duras condiciones a Alemania en Versalles al término de la Primera Guerra Mundial, ¿habrán pensado en la posibilidad que esto mismo puede sentar las bases de un futuro conflicto?



Seguramente conoce Usted unos ejemplos de esta *miopía en el tiempo*. Visite el [sitio web del libro](#) para ver los que otros han expresado y para contribuir ejemplos propios.

También lo alejado en el espacio nos cuesta percibirlo como parte de "nuestro" sistema:

- todos sabemos que los gases de los spray dañan la capa de ozono y que la radiación solar adicional daña. El hoyo se encuentra sobre la región polar del hemisferio sur, donde están Chile y Argentina. ¿Los chilenos dejan de usar los spray con gases nocivos? ¿A un francés, le debe importar? ¿Usted usa estos gases?
- todos opinamos que en nuestro país (respectivo), debe ser evitada (o disminuida) la desigualdad, y estamos dispuestos a renunciar a algo nuestro para ayudar. Sabemos que gran parte de la población del planeta se encuentran en condiciones peores. ¿Qué hacemos?
- todos sabemos que es injusto y cruel tener que vivir en una zona de guerra u otros conflictos armados, donde gran cantidad de personas mueren por actos de violencia. ¿Cuántas personas "civiles" mueren cada día por acciones bélicas en nuestro planeta sin ser partícipes del combate o de las fuerzas armadas? Por cierto que no se les concede un memorial comparable a las víctimas de los atentados a las Torres Gemelas en Nueva York, pero ¿nos conmocionó de la misma manera?



Seguramente conoce Usted unos ejemplos de esta *miopía en el espacio*. Visite el [sitio web del libro](#) para ver los que otros han expresado y para contribuir ejemplos propios.

También hay condiciones más bien humanas o sociales que pueden hacer que en una determinada situación, no deseamos ver lo que podríamos ver. Eric Wolstenholme (2004) identificó 10:

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

- 1) *ceguera completa*: exclusión completa de lo relacionado con efectos de más largo plazo, muchas veces en situaciones donde hay exigencias de corto plazo muy elevadas: "pan para hoy, hambre para mañana".
- 2) *ceguera parcial*: desestimación de efectos laterales, que puede ser parte del ámbito de responsabilidad de otros, o simplemente se pretende que "esta vez no habrá problemas".
- 3) *se ve pero se elige cerrar los ojos*: los efectos laterales se reconocen, pero se cree que "esto es lo que hay", habrá que vivir con esto.
- 4) *se ve, pero hay miedo de actuar*: cuando las metas están fijadas en el corto plazo y se es responsable por el logro de las metas, entonces actuar en pro del largo plazo significa un costo en el corto plazo, que es preferible no pagar.
- 5) *se ve, pero no se cree*: los efectos laterales están a la vista, pero no hay pruebas duras (acuerdo de Kyoto), y se sigue adelante.
- 6) *se ve, pero no se aceptan los riesgos de actuar*: cuando las perspectivas de crecimiento dejan ver la necesidad de invertir, pero la inversión significa riesgos, se puede elegir no invertir a pesar del conocimiento.
- 7) se ve, pero el plazo en el cual se verán los efectos laterales es demasiado largo para ser tomado en consideración.
- 8) se ve, pero se ignora por motivos políticos.
- 9) se ve, pero se ignora porque se cree que nadie se dará cuenta.
- 10) se ve, pero demasiado tarde.



Seguramente conoce Usted unos ejemplos de estas *cegueras*. Visite el [sitio web del libro](#) para ver los que otros han expresado y para contribuir ejemplos propios.

El pensamiento y la acción sistémicos

Muchas de las situaciones que enfrentamos tienen múltiples componentes interrelacionados y en permanente reconfiguración: son "sistémicas". Hay más de una definición de lo que es un "sistema". Según Peter Senge (1995, p. 94), la palabra deriva de verbo griego *sunístánai*, que significa "causar una unión". Esto da a pensar que cuando una persona dice que (por ejemplo) la economía es un sistema, no necesariamente la economía es un sistema en el mundo real: lo es en los ojos de quien habla. Y esto es suficiente. Cada uno de nosotros vive en el mundo que ve desde su lugar, desde su punto de vista; nadie tiene un acceso privilegiado al mundo "real". Todos actuamos desde la *realidad* que *vemos*, y luego nuestras acciones intervienen en la realidad "real", que reaccionara de una u otra manera. Entonces si acordamos clasificar a la economía como un sistema, mientras las acciones que generamos desde esta idea resulten en efectos aceptables, no tenemos razones para cambiar de opinión.

Un "sistema" es un conjunto de componentes (muchas veces subsistemas) que interactúan. Como conjunto, tienen un borde o una frontera mediante la cual el sistema se diferencia del resto del mundo. También el conjunto muestra comportamientos "como un todo", tanto así que muchas veces le

adscribimos un objetivo. Tener un objetivo no es, sin embargo, un atributo necesario para ser considerado “sistema”. Muchos sistemas naturales son como son porque así resultaron del proceso de la evolución; no hay una entidad que haya diseñado el ecosistema (para tal o cual propósito), pero no deja de ser un sistema.

En el mundo social, nos enfrentamos con:

- sistemas artificiales: los productos tecnológicos como televisor, computador o teléfono móvil.
- sistemas mezclados: empresa, familia, mercado, dinero, universidad y otras entidades que los economistas llaman “instituciones”. No son producto directo de la evolución natural, pero tampoco han sido diseñados deliberadamente.
- sistemas naturales: el clima, las plantas y los animales, el planeta. (Resulta intrigante reflexionar hasta qué punto el poder tecnológico de la humanidad transforma algunos sistemas naturales en sistemas mezclados: piense en el cambio climático y todas sus consecuencias.)



Seguramente conoce Usted unos ejemplos de estos *sistemas*. Visite el [sitio web del libro](#) para ver los que otros han expresado y para contribuir ejemplos propios.

En un “sistema”, las partes son *interdependientes*. Ello significa que el pensamiento “lineal” - A causa B - es inadecuado porque no deja ver que, directa o indirectamente, B vuelve a influir en A.

Tome como ejemplo las guerras de precio y otros fenómenos de escalamiento: un competidor acaba de bajar los precios de un producto; en respuesta (para evitar pérdida de compradores) nuestra empresa baja sus precios. Luego esto asusta a la empresa competidora, que a su vez baja sus precios aún más ... cada una de las empresas parece aplicar la regla “si el otro baja sus precios, entonces yo los bajo aún más”.

Hasta el derrumbe de la Unión Soviética al inicio de los '90, las dos superpotencias siguieron la misma regla en la carrera de armamento tan característica de la Guerra Fría; hoy, 25 años más tarde, nuestro planeta desborda todavía de armas nucleares, químicas y biológicas. La consecuencia de esto es que por un periodo desconocido (pero muy largo), vigilar estos objetos absorberá recursos de un volumen importante.

Un caso famoso son los cambios de política de contribuciones anunciados, donde un regulador piensa: la gente consume demasiado del servicio X, entonces aumentamos la tarifa, y el anuncio hace que la gente se apresure a usar lo más que pueda antes del cambio: frecuentemente, la causalidad es circular. Por ejemplo, el seguro de salud puede haber detectado muy altos costos de dentista, por lo cual decide bajar la cobertura a estas prestaciones. Desde el momento cuando esta medida se anuncia (lo que debe ser hecho

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

con anticipación), todos los que puedan intentarán tratarse los dientes antes del cambio: así se observará un crecimiento de costos, donde se quiso obtener una baja. Tales episodios han ocurrido en muchos países.

Hay un distrito industrial en el este de EE.UU. en el cual las emisiones industriales son tan fuertes durante los días de la semana que la atmósfera se llena en el tiempo de cinco días (lunes - viernes) y todos los fines de semana, el tiempo está malo (Sterman, 2002).



Seguramente conoce Usted unos ejemplos de esto. Visite el [sitio web del libro](#) para ver los que otros han expresado y para contribuir ejemplos propios.

Se piensa entonces que actuaríamos mejor si solo percibimos y pensamos mejor. Esto es el *pensamiento sistémico*, que se ha definido de diferentes maneras. Ya no será una sorpresa encontrarse con diferentes definiciones de lo que es este pensamiento. En este libro, nos limitaremos a las que se usan dentro de la dinámica de sistemas.

Barry Richmond, uno de los pioneros del software de modelamiento, propuso (1993; 1994):

- *pensamiento dinámico*, en términos de procesos y flujos en lugar de eventos aislados. Cuando intentamos a generar una estrategia para reducir la desigualdad en la distribución de la riqueza en los países en vía del desarrollo, podemos fijarnos en cómo está la situación en el año actual: esta es una visión *estática*. Una visión *dinámica* sería cuando nos basamos en cómo la situación ha evolucionado durante los pasados 40 años. Un buen ejemplo de este enfoque son los informes del Programa Objetivos de desarrollo del Milenio de Naciones Unidas (www.un.org/spanish/millenniumgoals).

Presentación General 2.1 Progresos hacia los objetivos de desarrollo del Milenio

ODM: resumen por regiones

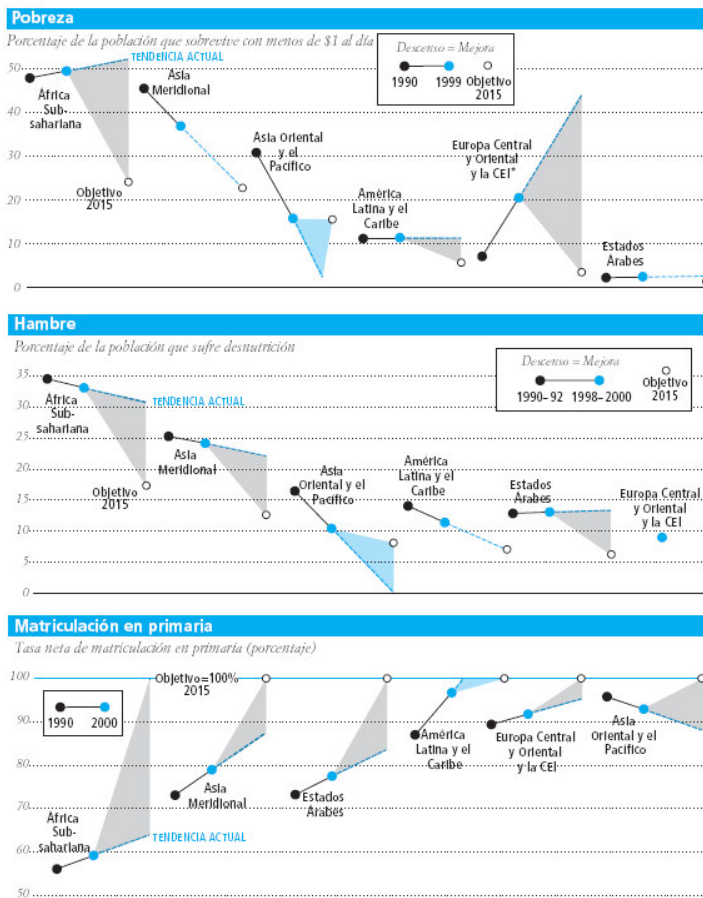


Ilustración 1: enfoque dinámico (Fuente: Informe sobre desarrollo humano 2003, p. 51)

En este gráfico se presenta el desarrollo de las regiones geográficas respecto de tres de los Objetivos del Milenio, junto con adónde llegará si todo sigue igual y adónde deberían llegar para cumplir el objetivo hasta el año 2015.

- *el sistema como causa*: los eventos no son el fruto del azar, sino que consecuencia de las estructuras operantes en el sistema. Las cosas no pasan al azar o “porque sí”: son reguladas por la estructura del sistema. Para esto, es necesario adoptar el pensamiento dinámico. Por ejemplo, habrá razones estructurales por qué Asia oriental podrá alcanzar los Objetivos de Milenio de reducción de pobreza y de hambre mejor que América Latina, pero no así en el caso de la cobertura escolar básica.
- *pensamiento de bosque*: no basta con ver los árboles, se ve también el bosque como un todo. Muchas veces, nos ocupamos de los eventos, interactuamos con individuos y con casos particulares. Al retroceder unos pasos, podríamos ver que por muy particular que pueden ser estos casos, hay un patrón, algo que tienen en común.
- *pensamiento operacional*: tenemos que pensar en términos de la cadena entera de efectos que terminan produciendo un resultado final. Hay que

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

tomar en cuenta cada uno de los elementos que participan de la transmisión del efecto. Por ejemplo, acostumbramos escuchar en las noticias que el banco central (u otra institución responsable de la política monetaria de un país) ha aumentado la tasa de interés para proteger la economía de un sobrecalentamiento (que resultaría en una mayor inflación). Pero ¿cómo exactamente llegamos desde un cambio de la tasa de interés del instituto emisor a la inflación en el país? ¿Por qué funciona? Se recomienda tener claridad sobre la “mecánica” de la transmisión de estos cambios.

- *pensamiento de causalidad circular* (ciclo cerrado): el mundo no es dominado por cadenas causales unidireccionales: si A -> B, por algún camino más o menos directo, B -> A.

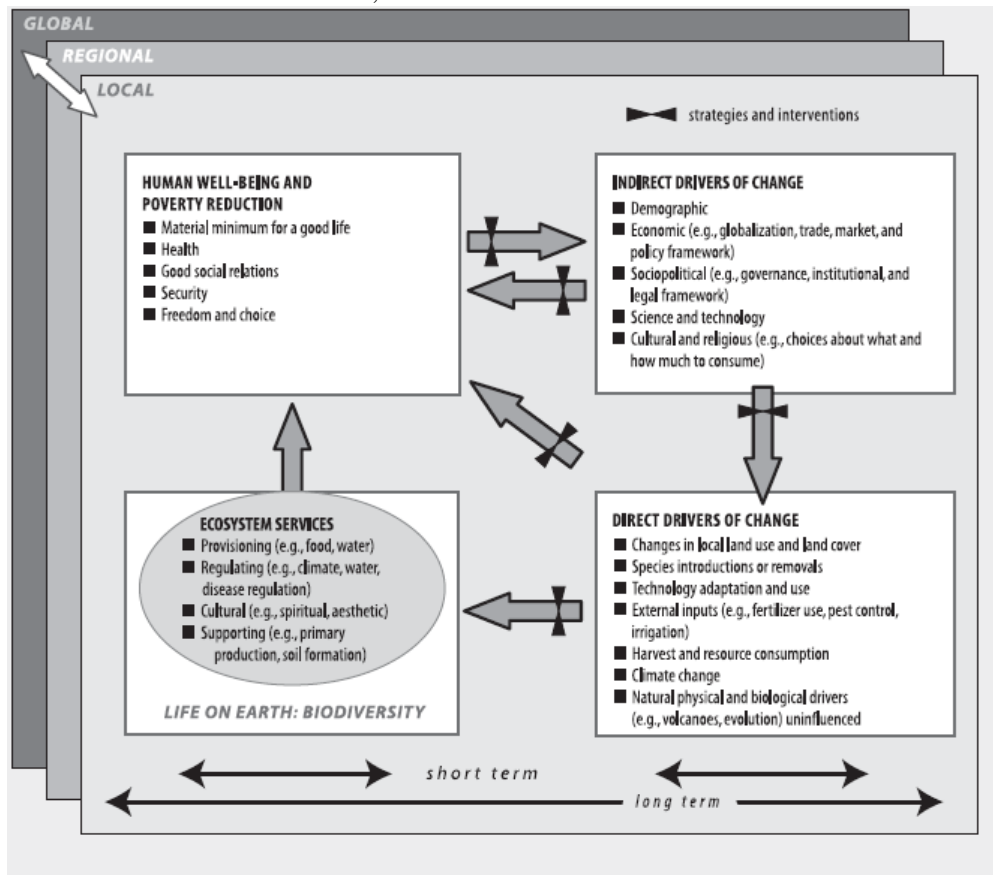


Ilustración 2: una visión circular de la relación entre ecosistema y bienestar humano. Fuente: “Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment”, p. 9

Podemos observar primero que el sistema “local” es solamente un subsistema del “regional”, que a su vez es subsistema de “global”. Luego vemos cuatro sectores – bienestar, factores determinantes indirectos del cambio, factores determinantes directos del cambio y servicios de ecosistema (por ejemplo, los bosques nos rinden muchos servicios como producción de oxígeno, estabilización del suelo etcétera). Queda en evidencia que un cambio en los factores directos volverá a afectar las condiciones en las cuales estos factores se manejan.

- *pensamiento cuantitativo*: prestar atención a las cantidades nos da un ancla en lo que es directamente observable. Esto ayuda a disciplinar nuestra tendencia natural a hacer inferencias y tomarlas como la “realidad”. Considere una declaración “las ventas han bajado horriblemente” y otra “las ventas del mes de marzo son 5% más bajas que las de febrero y empeoran la tendencia por 3 puntos”. Probablemente la segunda nos servirá más para construir un camino hacia un futuro mejor.
- *pensamiento científico*: la combinación de pensamiento lógicamente coherente y prueba empírica (también en simulación) ayuda a discriminar entre ideas válidas y otras ideas. Es la búsqueda de rigor en el pensamiento: ¿de verdad lo que me parece tan obvio es lógicamente correcto? ¿De verdad hay observaciones directas que avalen lo que creo y no hay evidencias contrarias? Podemos aceptar que nuestras ideas y creencias no son “la realidad”, pero esto no es el punto; lo importante es basar nuestras acciones en las mejores ideas disponibles y no cometer errores que hayan sido evitables.

Günther Ossimitz, investigador en el contexto del aprendizaje del pensamiento sistémico desde la perspectiva austriaca, publicó esto (2002):

- *pensar en términos de estructuras interrelacionadas*: un sistema es un conjunto de componentes que interactúan y causan un comportamiento global; por lo tanto, no podemos intervenir en una de sus partes sin arriesgar efectos en otras partes y posiblemente retroefectos sobre la parte intervenida (ya se han mencionados los efectos laterales, comportamiento contraintuitivo y la resistencia a políticas). Entonces al acostumbrarnos a pensar en términos de redes de componentes interdependientes, tenemos una oportunidad de evitar estas malas sorpresas.
- *pensamiento dinámico*, lo que significa tomar en cuenta la evolución de las variables en el tiempo, no sólo fotografías momentáneas; en este aspecto, Ossimitz coincide con lo expresado por Richmond.
- *pensar en términos de modelos*: tenemos que preservar la conciencia de que siempre percibimos, pensamos y actuamos a través de nuestro *modelo* de una situación compleja, el que es usualmente mucho menos complejo que la situación “real”. Tal como el mapa no es el territorio – solamente permite navegar en él – el modelo no es el sistema. Tiene una validez definida, es decir es útil solamente en relación con el propósito para el cual fue desarrollado, y no hay garantía de que en el tiempo, no vayamos a tener que revisarlo y cambiarlo.
- *acción adecuada para el sistema*: tenemos que actuar de manera a mantener la conducta del sistema bajo control. Recordemos que buscamos gobernar a los sistemas, influir en su conducta de acuerdo a nuestras necesidades y nuestros deseos. Entonces *pensar* correctamente es solamente un instrumento para el fin de *actuar* exitosamente.

John Sterman, profesor del MIT (donde trabajó Jay Forrester) y director de su grupo de dinámica de sistemas postula lo siguiente (Sweeny y Sterman, 2000):

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

- comprender cómo la *conducta del sistema emerge* desde las interacciones de los actores en el sistema, en el tiempo (complejidad dinámica);
- descubrir los procesos de *retroalimentación* (positiva y negativa) que - hipotéticamente- están detrás de los patrones de conducta observados;
- identificar las relaciones de *flujos y acumuladores*;
- reconocer *demoras* y comprender su impacto;
- identificar *no linealidades*;
- reconocer y desafiar las *fronteras* de modelos mentales y articulados.

Esta última definición es eminentemente marcada por el universo conceptual de la dinámica de sistemas y usa todos los conceptos esenciales.

Por cierto, cada una de estas propuestas es una manera particular de pensar sobre un tema común. Este curso tiene la aspiración de ayudarle a desarrollar su pensamiento sistémico. Claro está que el tiempo de un semestre es corto y Usted no debe esperar transformarse en un experto; sin embargo, será capaz de reconocer y razonar en términos de algunos bloques de construcción.

Lo que modelamos en dinámica de sistemas

Modelamiento de políticas y decisiones

El administrador convierte información en acción (en información)

Queremos ayudar a personas con alguna responsabilidad frente a situaciones complejas. Esto nos aleja de la idea de modelar "el sistema", porque una persona con una determinada responsabilidad no se enfrenta a "el sistema". Más bien, tiene que lidiar con situaciones en las cuales "el sistema" se manifiesta de diversas maneras: el responsable tiene un punto de vista particular, es lo que llamamos un agente situado. Desde este punto de vista, enmarcado en la necesidad de cumplir de la mejor forma con su responsabilidad, él tiene una vista selectiva de "el sistema". Lo mismo es el caso cuando trabajamos con grupos de responsables, solamente que en este caso, suelen existir varios puntos de vista.

Necesitamos, entonces, tener alguna imaginación - un modelo mental - de lo que hace un responsable. Su responsabilidad consiste, en términos genéricos, en asegurar que determinadas condiciones se cumpan. Por ejemplo, un vendedor es responsable de realizar una meta de ventas, un gerente de producción es responsable de la calidad y de la cantidad de su producción, un responsable de proyecto debe conducir los diversos aspectos del proyecto para realizarlo en el tiempo y con el presupuesto disponible...

Un responsable debe entonces saber lo que tiene que lograr, apreciar la situación actual y en base de las diferencias detectadas, tomar acciones correctivas. En este sentido, cada acción es la encarnación de una decisión e influye en algún proceso que se está realizando: nuestras acciones son guiadas por nuestras decisiones.



Ilustración 3: sistema de control

Hay decisiones implícitas en procesos físicos y decisiones explícitas que toma alguna persona; en el primer caso, muchas veces el estado físico de los factores importantes interviene en la decisión, en el segundo caso es la "información acerca del" estado actual de los factores, que en general comporta una demora y otras transformaciones.

A la vez, las acciones cambian el proceso, y de una u otra manera, el mundo cambia. En consecuencia, se genera nueva información, que luego se toma en cuenta para las futuras decisiones. Por ejemplo, un responsable de bodega, al detectar que tiene muy poco de un determinado artículo, hace un pedido a su proveedor. En acto de pedir termina cambiando la cantidad disponible, lo que modifica la base sobre la cual él toma sus decisiones de pedido.

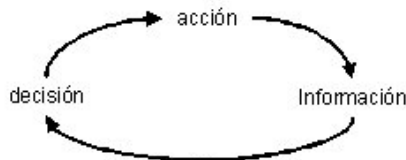


Ilustración 4: ciclo IDA según Forrester (1994, p. 53)

Nuestras decisiones son guiadas por políticas de decisión

A cada responsable, se le presenta una multitud de informaciones, pero solamente algunas son tomadas en cuenta para decidir. Este filtro selectivo depende de factores culturales, organizacionales e individuales.

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

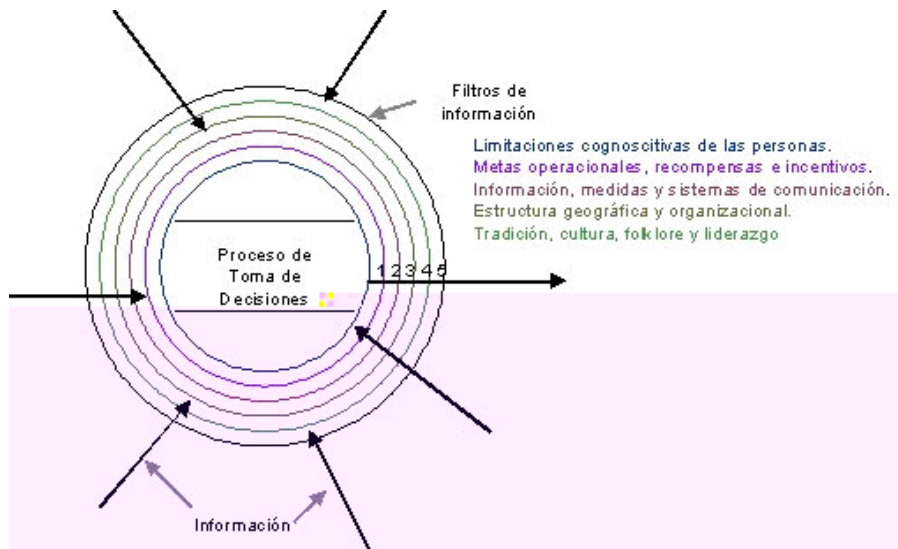


Ilustración 5: fuentes de información para decidir (adaptado de Morecroft, 1994, p. 16)

Además, las reglas de acción que permiten derivar una determinada acción correctiva desde un determinado perfil de diferencia entre lo deseado y lo actual no son predefinidas: también son producto de decisiones tomadas en base a informaciones. Por esta razón, igualmente son afectadas por estos factores.

Esto es lo que llamamos política: el conjunto de reglas que guían al responsable, según las cuales selecciona informaciones y genera decisiones.



Ilustración 6: aprendizaje en doble bucle

Las políticas se revelan en el discurso sobre y en la acción de decidir. Muy a menudo, parte de las reglas son implícitas, es decir las políticas de decisión declaradas pueden diferir de las verdaderamente usadas. Esto nos plantea un gran desafío: sólo si logramos descubrir las verdaderas políticas en uso, tenemos una oportunidad de revisar lo que genera las decisiones.

Esto es muy importante: si un responsable tiene un problema, es que sus acciones pasadas tuvieron efectos laterales adversos, y han producido o no

han evitado el problema. Por lo tanto, debe existir un defecto en sus decisiones. Pero puesto que ellas se generaron en el marco de las políticas de decisión actuales, ninguna mejora duradera de las decisiones se puede lograr sin revisar estas políticas. Como remarcó Albert Einstein: "no podemos pretender cambiar el mundo con las mismas herramientas que hemos usado para generarlo en su forma presente".

En dinámica de sistemas, afirmamos que muchos problemas que tenemos, son consecuencia de acciones nuestras, decididas en el marco de "políticas de decisión" que pueden ser explícitas o implícitas. Nuestra meta es llegar a explicitar las políticas de decisión, revisarlas y mejorarlas, porque de este modo podemos superar el problema de forma duradera.

La función de los modelos

Según el diccionario (<http://dictionary.reference.com/search?q=model>), la palabra "modelo" es un diminutivo derivado del latín "modus" o forma; literalmente un modelo es una forma de tamaño reducido. De acuerdo con esto, hay diferentes sentidos como:

1. Objeto pequeño que represente a otro, usualmente más grande;
2. Trabajo o construcción preliminar que sirve como plan del cual un producto final puede ser hecho: un modelo de barro para una estatua.
3. Un tal trabajo puede ser usado en pruebas o para perfeccionar un producto final
4. Descripción esquemática de un sistema, una teoría o un fenómeno que reproduce sus propiedades conocidas o desconocidas y que puede ser usado para seguir estudiando sus propiedades.
5. Un patrón o estilo genérico para un objeto: mi auto es un modelo de este año.
6. Un ejemplar digno de ser imitado (sinónimo de ideal).

La raíz indo-europea de la palabra es "med", lo que significa "toma medidas apropiadas", y de la cual también derivaron palabras como medicina, moderno, modesto y comodidad (según el diccionario de Bartleby en <http://www.bartleby.com/61/roots/IE305.html>).

Las definiciones 2 y 3 hablan de cuando el modelo se elabora en la intencionalidad de *diseñar* un objeto que debe existir en el futuro. La definiciones 4 se refieren a cuando el modelador intenta *comprender* adecuadamente algo que ya existe. A veces, la meta de un proyecto es comprender o explicar un fenómeno – por ejemplo en el ámbito de las ciencias. Pero cuando se trata de solucionar problemas concretos o rediseñar un sistema social en marcha, se trata de diseñar algo que aún no existe. La comprensión de lo que existe es un prerrequisito, pero diseñar va más lejos.

Mientras en diversas industrias es usual construir modelos concretos (un auto o avión pequeño que se pone en un canal de viento para evaluar sus características de aerodinámica; también aparece en la industria textil y la

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

moda en general). Para la dinámica de sistemas, se trata más bien de modelos abstractos.

Tenemos modelos de diversos grados de formalización. Se dice que un texto es un modelo informal; los diagramas son modelos semiformales porque en su construcción, nos sometemos a algunas reglas de vocabulario y sintaxis que los hacen menos flexible que nuestro lenguaje usual. Finalmente, la matemática permite la existencia de modelos formales; son los únicos que pueden ser tratados con la precisión de lo numérico. A veces, hay solución analítica, pero en nuestro caso es la simulación: la ejecución paso a paso de instrucciones de cálculo que se aplican para determinar los valores de las diferentes variables.

Ya que nos interesamos en cómo las cosas cambian con el tiempo, se excluyen los modelos estáticos por no tener la noción del tiempo. En dinámica, no hacemos el supuesto de que el mundo social buscaría siempre un equilibrio estático: al contrario, el cambio es la regla en el mundo de las organizaciones. Asumimos, además, que muchas relaciones entre variables no son lineales.

Otro aspecto importante es que no se asume una causalidad lineal, sino que justamente se postula que la mayoría de los sistemas tienen una lógica operacional cerrada, con causalidad circular. Esto es así en la empresa y otros sistemas sociales, pero también en los sistemas naturales en los cuales interviene el hombre. Así se ha mostrado, por ejemplo, que sobre partes muy industrializadas de la costa este de Estados Unidos, surgió un ciclo de mal tiempo de siete días: de lunes a viernes, se acumulan inmisiones industriales, hasta que el fin de semana el tiempo se pone lluvioso (Sweeny y Sterman, 2002).

Muchos modelos en las ciencias sociales se elaboran con el fin de poder predecir el probable desarrollo de ciertas variables en el futuro. Para este fin, la relevancia estadística de las variables y sus conexiones causales es suficiente, ya que las variaciones de una variable dependiente pueden ser explicadas por las de una variable independiente: se puede mostrar, de modo repetible, cómo se propaga la influencia causal. Es así que se ha mostrado en estudios de la UNESCO, que en América Latina los alumnos de escuelas y colegios donde los docentes están conformes con su salario, obtienen un rendimiento escolar más alto.

En dinámica de sistemas, intentamos rediseñar sistemas, intervenir en ellos, cambiarlos. Esto va más allá que explicarlos y nos pone en cercanía del modelamiento de la ingeniería. En el ejemplo del estudio de la UNESCO, ¿sería justificada una política de mejoramiento que propone aumentar los salarios, esperando que ello se tradujera en un aumento del rendimiento escolar? Por cierto, se deberían considerar todos los (otros) factores que posiblemente inciden en lo que termina siendo el rendimiento escolar.

Desde esta ambición de poder diseñar lo que aún no es, se deriva un conjunto de principios (abajo).

Puede leer más sobre estos tópicos en Forrester, 1961, capítulo 4.

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

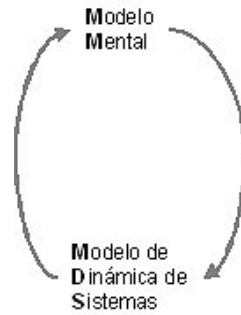


Ilustración 9: interrelación entre modelo mental y modelo de dinámica de sistemas

Conviene de este punto en adelante distinguir entre la esfera de las ideas (los contenidos mentales) y la esfera física (el mundo “real”); si bien el actor humano sólo accede al mundo real a través de las ideas, confiamos en que este mundo real sea lo suficiente estable para que el desarrollo de ideas rigurosamente desarrolladas aumente nuestro éxito.

Dos posibles roles para el modelo

Surge la pregunta de si el MDS tiene la única función de interactuar con e influir en el MM, o si es posible también que se use como plan de construcción para el SA:

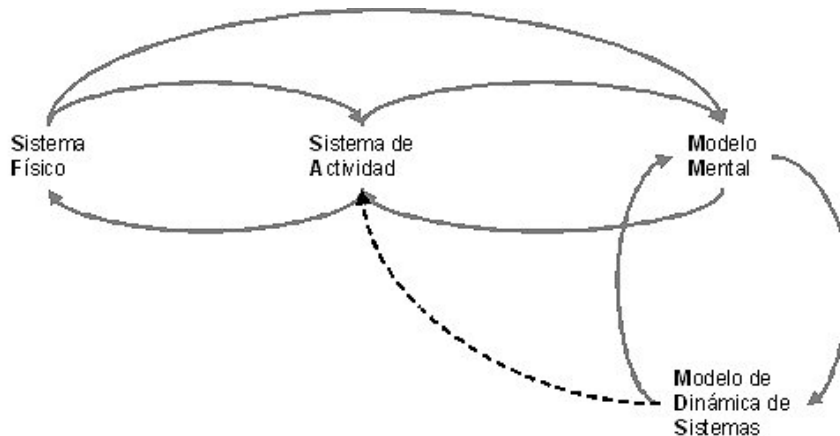


Ilustración 10: los posibles roles del modelo

Para elaborar una respuesta, es preciso definir de qué se compone el SA. El ser humano tiene la posibilidad de interactuar directamente con el sistema que desea gobernar (el SF), en este caso se trata de acción. Pero también puede elaborar artefactos y luego interactuar con el SF usándolos; “artefacto” es aquí un término para referirse a reglas, procedimientos, software, mecanismos y máquinas.

La primera manera de ver los MDS es entonces que su elaboración y uso hace cambiar los MM, y luego los actores adaptarán su acción directa o el

diseño de sus artefactos. Y la manera alternativa es de postular su uso para diseñar directamente los artefactos del SA.

La diferencia es importante, ya que pone de manifiesto dos paradigmas diferentes. Usaremos dos autores para ilustrar este punto.

Un Mullah se trasladó con su camello hacia Medina; en su camino, se cruzó con una manada de camellos y tres jóvenes de aspecto triste. “¿Qué les pasó, amigos?”, preguntó el Mullah, y el mayor respondió: “Nuestro padre murió.” “Que Allah lo bendiga. Lo lamento por Ustedes” dijo el Mullah. “Pero ¿seguramente les dejó algo para Ustedes?” El joven replicó “Sí, estos 17 camellos. Esto es todo lo que tenía.” A lo cual el Mullah respondió “Entonces alégrese. ¿Qué más los preocupa?” El mayor de los jóvenes continuó: “La cosa es que según su testamento, yo obtengo la mitad de los camellos, mi hermano medio un tercio y el menor una novena parte. Intentábamos todo lo posible, pero con 17 camellos no se puede.” A lo cual el Mullah contestó: “Si esto es todo, entonces tomen mi camello por un momento, y veremos lo que pasa.” Ahora el hermano mayor obtuvo con 9 camellos la mitad de los 18. El hermano medio recibió su tercera parte, lo que da 6. De los 3 camellos restantes, el hermano chico recibió 2 (la novena parte de 18), y el Mullah recuperó el suyo, lo montó y se fue, no sin saludar sonriente a los tres jóvenes felices.

Heinz von Foerster comenta esta historia con “de la misma manera que se necesitaba el último camello, necesitamos la “realidad” como un bastón que botamos cuando tenemos todo claro” (<http://www.ibs-network.de/ferkel/von-foerster-03.shtml>), traducción por autor).

En la obra inicial “Industrial dynamics” (Forrester, 1961), y de manera muy intensa en “Designing the future”, Jay Forrester hace la analogía entre la manera cómo se diseñan los aviones y las organizaciones: “organizaciones construidas por comités e intuición no tienen más éxito de lo que tendría un avión construido con los mismos métodos. Frecuentemente, se destina capital riesgo para financiar empresas en las cuales las políticas, los productos y los mercados se eligen de tal manera que el fracaso es predeterminado. De la misma manera que en un avión mal diseñado, que ningún piloto puede hacer volar exitosamente, ningún gerente del mundo real puede conducir tales corporaciones mal diseñadas al éxito” (traducido por el autor).

La posición de von Foerster – no tomar un MDS por más que un “bastón” para obtener un buen MM – clasifica el MDS como algo desechable. Recordamos el “Absolutum obsoletum – cuando finalmente funciona, ya no sirve” de Stafford Beer (1981). En cambio, Forrester parece haber pensado en algo comparable con los planes de construcción de un avión; sin embargo, los diseños o planes de construcción de tales artefactos no se botan; muy a contrario, se vuelven a revisar y mejorar para la próxima versión.

Estructura de un modelo

Un modelo tiene una estructura física y otra de políticas de decisión.

Cada situación que enfrenta un responsable, contiene una parte del mundo material o físico. Por ejemplo, en el mundo del bodeguero, hay un sistema

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

de transporte que conecta la bodega con el proveedor. Este sistema obedece a leyes físicas y otras regularidades que son como son y no pueden ser cambiadas. Transportar mercadería de un lugar a otro siempre tomará tiempo. Fabricar un producto en varias etapas mediante la combinación de módulos que a su vez deben ser ensamblados siempre tomará tiempo.

En esta parte, decimos que en el sistema físico se toman decisiones implícitas. Por ejemplo, cuando un termostato activa la calefacción porque la temperatura medida es inferior a la actual, es una decisión implícita. El termostato no realiza una deliberación consciente. Simplemente hay un componente en él que cambia su forma, en función de la temperatura ambiente, y de esta manera establece o interrumpe un contacto (*switch*) físico. En este sentido, las decisiones implícitas del sistema físico, muy a menudo se basan en el estado real del sistema en cada momento. Otros ejemplos incluyen los fenómenos de crecimiento en el ámbito de lo vivo (plantas, animales).

Junto con el sistema físico, hay un sistema organizacional de políticas de decisión. Por ejemplo, hay una planta en la cual se realiza la producción. En esta planta, se han definidas ciertas variables clave que se monitorean - por ejemplo la cantidad de desechos por faltas de producción - según las cuales se ajustan otras variables (en el sistema físico) mediante decisiones: por ejemplo, la velocidad de una línea de ensamblaje puede ser regulada en función de los desechos. O la composición de un vino (cepas que se mezclen) en función de los gustos de los compradores en los diferentes mercados.

En esta parte, hablamos de decisiones explícitas. Usualmente, estas decisiones no se toman en función del estado real del sistema, sino que en función de la información disponible sobre este estado. La velocidad de la línea de ensamblaje se decide en función de la información "número de desechos por lote de producción", no por los desechos mismos. La decisión de la viña se hace en base a información proveniente de un estudio de mercado, no directamente desde el gusto de los compradores. Esto significa que las decisiones explícitas no son, en general, conectadas a cambios en el sistema físico (como en el termostato), sino que la información sobre los cambios, con la consecuente demora que la confección y el transporte de la información significan. Por ejemplo, un jefe de tienda de una empresa de multitiendas toma sus decisiones al final del día, con un resumen de ventas, y no en cada instante (de acuerdo a la realización de cada venta individual). También significa que las distorsiones, la incompletitud y la incerteza inherente a la información influyen en las decisiones.

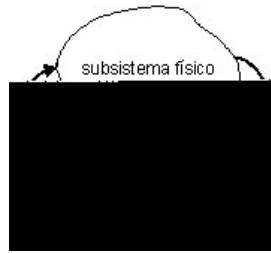


Ilustración 11: relación entre políticas y sistema físico

Flujos y estados

Se distinguen variables de flujo y variables de nivel.

Nuestro mundo está constituido por procesos. Un proceso es algo inherentemente dinámico, es el cambio o el movimiento de algo sobre el tiempo. Esto es algo que debemos representar en nuestros modelos de las situaciones, que siempre son parte de "el sistema" o simplemente del mundo.

Sin embargo, no podemos percibir directamente lo que cambia, los procesos. Cuando usted va al cine a ver una película, a sus ojos se le presentan imágenes estáticas. El movimiento no se ve, se construye adentro de su sistema cognitivo (nervioso). Nosotros solamente podemos "percibir" como son las cosas en un determinado momento, no como cambian. Por lo tanto, debemos poder representar "como son las cosas" en nuestros modelos.

En un modelo, ponemos variables y conexiones para re-presentar algo (la combinación entre subsistema físico y subsistema de políticas). Para representar a lo que es, usamos variables de estado. Para representar lo que cambia, usamos variables de flujo. Ambos tipos de variables se necesitan mutuamente: los flujos cambian a los estados, y sin estados (lo que hay) no habría flujos (cambiar lo que hay).

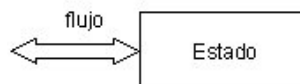


Ilustración 12: flujo y estado

Las decisiones actúan sobre los flujos: cuando el bodeguero hace un pedido, es un flujo. La cantidad de pedidos que el proveedor debe procesar cambia a raíz de él. Cuando el proveedor manda lo pedido, es un flujo: cambia la cantidad de pedidos por procesar y cambia la cantidad de artículos en la bodega del bodeguero.

Las decisiones se informan desde los estados: ya que no podemos percibir directamente los flujos, la decisión del bodeguero debe haberse basado en estados. Comparar la cantidad del artículo en la bodega con la cantidad

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

deseada es una comparación entre dos estados. Proveer en respuesta al "pedido que hay" es reaccionar a un estado.

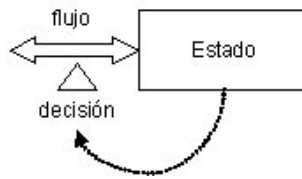


Ilustración 13: el sistema cerrado mínimo

En dinámica de sistemas, las variables de estado se llaman "nivel" y son definidas como "la cantidad de (algo) que se encuentre en este estado en este momento".

Hay un tercer tipo de variable en nuestros modelos: las variables auxiliares ayudan a explicitar las transformaciones de información que se realizan en la toma de decisiones. En el ejemplo de la bodega, la diferencia entre "lo que hay" y "lo que debe haber" puede ser almacenada en una variable auxiliar, ya que se trata de información.

Bloques de construcción mentales para el pensamiento sistémico

Retroalimentación

Lo que hacemos, no es sin efectos; y muchas veces, tiene mucho más efectos de lo que imaginamos. Los efectos se manifiestan primero en alguna parte donde lo vemos bien; por ejemplo, una campaña de publicidad tendrá algún efecto inmediato en el comportamiento de los consumidores. Pero también tiene otros efectos menos directos, por ejemplos del lado de los competidores; ahora bien, si en respuesta de nuestra campaña, un gran competidor lanza una campaña mayor, bien puede ser que el efecto a más largo plazo de nuestra campaña es una reducción de la demanda para nuestros productos.

Cuando algún efecto de una acción vuelve a afectar del actor de alguna manera, se habla de retroalimentación.

Es un tema central en la dinámica de sistemas, ya que ayuda donde los actores humanos tienen una tendencia de "no ver" efectos lejanos en el espacio o el tiempo. Se piensa que los comportamientos contraintuitivos, los efectos laterales y la resistencia de los sistemas, son consecuencia de una ceguera en relación con bucles de retroalimentación más lentos (que toman más tiempo) o más amplios (que pasan por variables más alejadas).

Un ejemplo simple de retroalimentación es la relación entre gallina y huevo. Si cada gallina produce una misma cantidad de huevos por día, añadir una nueva gallina significa obtener más huevos; y con un poco de paciencia, los

huevos adicionales resultarán en más gallinas. Esto es un ejemplo de retroalimentación positiva, ya que el aumento de gallinas inicial recibe un refuerzo desde los huevos adicionales:

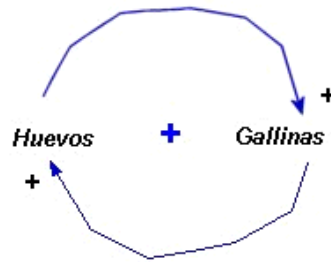


Ilustración 14: de huevos y gallinas

Calculemos para convencernos: asumimos que los huevos toman tres días hasta que salga una nueva gallina, y que ésta se ponga a producir huevos un día después de "nacer".

Periodo	Gallinas	Huevos
1	5	5
2	5	5
3	5	5
4	10	5
5	15	10
6	20	15
7	30	20
8	45	30
9	65	45

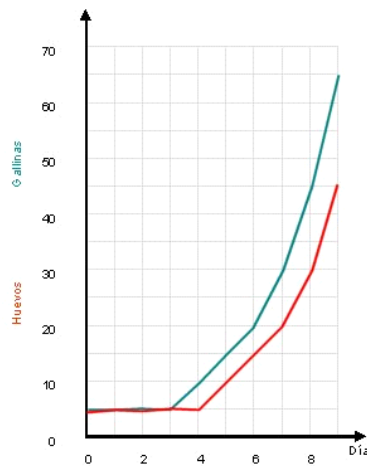


Ilustración 15: siempre más – crecimiento exponencial

Ahora analicemos lo que pasa cuando el terreno de las gallinas es dividido por rutas, y los animales deben cruzar las rutas (naturalmente hay una cierta probabilidad de que una gallina sea aplastada al cruzar la ruta). Por más gallinas, más operaciones de "cruzar" habrá, pero ¿qué pasará entonces con el número de gallinas (vivas)?

Flujos y Acumuladores

Cuando se razona a través de modelos articulados (explícitos), se hace usando variables y vínculos entre ellas. Una variable es algún atributo de un objeto que puede tener diferentes valores en el transcurso del tiempo. Un

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

vínculo describe alguna relación entre dos variables; en nuestro caso, solamente nos interesan vínculos causales. Al describir nuestra experiencia del mundo en forma de variables, en general suponemos implícitamente que todas las variables sean del mismo tipo. Usamos nombres extensos como "presión del aire" o abreviados como "PA", pero pasamos por alto que hay diferentes tipos de fenómeno en el mundo.

Todos sabemos que la *velocidad* de un automóvil es algo diferente a la *aceleración*: esta última es el cambio de velocidad. Entre estas dos variables - velocidad y aceleración - hay una relación bien especial, pues cuando mantenemos la aceleración positiva y constante, la velocidad aumenta más que linealmente (intente calcularlo mentalmente por un periodo de 5 segundos, partiendo con 10 Km/h y una aceleración de 100% por segundo).

¿Usted ha pensado alguna vez que una cuenta de ahorro que gana intereses es muy similar? Resulta que algunas variables se refieren a cantidades de "algo" que podemos medir en un determinado momento, y si nadie agrega más o quita algo, se quedan en el "acumulador". Otras variables se refieren al cambio que ocurre durante un determinado periodo. La diferencia tiene efectos sorprendentes, y es bien difícil de apreciar intuitivamente sin equivocarse.

Usted se preguntará si estos dos tipos de variables son "reales" o se usan siempre cuando se modela. Hay diferentes enfoques de modelamiento, algunos al nivel de actores y entidades individuales, otros enfoques se interesan en los agregados de entidades. La dinámica de sistemas pertenece al segundo tipo de enfoque. Según otra manera de organizar los enfoques, algunos se basan en "eventos discretos", otros en flujos continuos; nuevamente, la dinámica de sistemas es del segundo tipo.

Por lo anterior, nuestras variables aparecen en nuestros modelos para articular agregados de entidades en los diversos lugares del sistema; puesto que adoptamos una mirada dinámica, nos interesa poder representar cómo los grupos de entidades se mueven de una parte a otra en el sistema. Entonces necesitamos los dos tipos de variable; presumiblemente cualquier estilo de modelamiento basado en agregados y con una mirada dinámica va a necesitar variables de flujo y de acumulación.

Demoras

¿Usted cree que muchas personas logran parar de fumar porque 20 años más tarde tendrán problemas de salud? ¿Cuando tiene mucha hambre, Usted come lento porque sabe que entre el primer mordisco y la sensación de satisfacción pasan alrededor de 15 minutos (y entonces si come rápido se va a sobrealimentar)?

Algunos procesos son más lentos que otros, pero todos operan. Cuando un vínculo causal opera más lentamente, hablamos de "demora". Experimentos muestran que especialmente las demoras dificultan el reconocimiento de bucles causales.

Fronteras

Posiblemente usted ha escuchado del "efecto mariposa": el meteorólogo Lorenz, en algún momento, se dio cuenta que el clima puede devenir tan sensible a pequeños cambios que hasta el movimiento de las alas de una mariposa puede tener efectos masivos, por ejemplo la formación de una tormenta. Fue uno de los momentos iniciales de la teoría del "caos determinista", que puede modelarse con bastante simpleza.

Es un buen ejemplo para plantear la pregunta ¿qué debe ser tomado en cuenta en un modelo? Si creemos que hasta lo que queda lejos en espacio y tiempo puede volver a afectarnos, ¿hasta dónde tenemos que ampliar las fronteras del modelo? Intuitivamente, tendemos a excluir elementos importantes, por razones cognitivas o motivacionales.

Modelar para aprender y saber

Investigaciones empíricas muestran que las personas sin previo entrenamiento en la materia, tienen grandes dificultades para pensar sistémicamente (según cualquiera de las definiciones). Hasta resulta un desafío demasiado grande articular la relación entre un flujo y un nivel para la mayoría de nosotros. Lo que no logramos apreciar intuitivamente, el modelamiento nos ayuda a aprenderlo. Y esto es lo que propone la dinámica de sistemas: la elaboración sistemática de modelos en base de los bloques de construcción, con además la posibilidad de someter estas ideas a la prueba de la simulación.

Haciendo el punto

Resumen

En este capítulo, se han presentado los puntos básicos más importantes para justificar y para describir la dinámica de sistemas.

Los sistemas sociales se resisten a ser cambiados. Tienen mecanismos internos de estabilización. Solamente al conocer éstos, podemos esperar identificar puntos de apalancamiento que permitan un cambio duradero.

Nuestras intervenciones producen efectos laterales. Debido a los múltiples canales causales, frecuentemente circulares, cada acción tiene diversos efectos, algunos de los cuales pueden poner en peligro el logro de lo que motivó la misma acción. Modelamos para evitar los efectos laterales.

La conducta de los sistemas sociales suele ser contraintuitiva. Nuestra intuición no toma en cuenta la complejidad dinámica que deriva de la retroalimentación.

El actor humano tiene una cognición limitada. Percibimos lo que es cercano en el espacio y en el tiempo, pero muchas veces existen procesos lentos y/o que cubren un espacio amplio. Adicionalmente, en muchas situaciones elegimos no ver.

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?

El pensamiento sistémico no es innato. Nos cuesta apreciar cómo interactúan un flujo y un acumulador, y no logramos percibir bucles de retroalimentación.

Modelamos procesos físicos y políticas de decisión. Si queremos cambiar exitosamente un sistema, tenemos que partir de cómo opera. Las políticas de decisión regulan cómo decidimos, y una mejora a este nivel causa decisiones y acciones más exitosas.

Modelamos para comprender bien y para poder cambiar exitosamente. Se puede modelar para explicar lo que existe y modelar para diseñar lo que – aún- no existe. Nosotros estamos en el segundo grupo.

Modelamos todo como flujos y acumulaciones. Cada cosa que podemos distinguir en el mundo es un acumulador - algo que podemos contar en un determinado momento - o bien un flujo que, durante un periodo de tiempo, cambia lo que hay en un acumulador.

El bloque de construcción básico del modelo es el bucle de retroalimentación. Los sistemas capaces de generar su propia conducta son autorreferenciales. Un sistema – y los modelos que lo representen – es un conjunto de bucles de retroalimentación en superposición.

En general, los diferentes procesos tienen velocidades diferentes. Cada proceso requiere tiempo. Los más lentos son *demorados* en relación con los más veloces, lo que aumenta la complejidad dinámica del sistema.

Sólo lo que es esencial para explicar la conducta modelada, se pone dentro del modelo. Nos interesa solamente la parte estructural del sistema “real” que

Morecroft, 1994: "Executive knowledge, models and learning", en Morecroft and Sterman, 1994

Morecroft and Sterman, 1994: **Modeling for learning organizations**, Productivity Press

Ossimitz, 2002: "Stock-Flow-Thinking and Reading stock-flow-related Graphs: An Empirical Investigation in Dynamic Thinking Abilities", 2002 *Proceedings of the International System Dynamics Conference*, Palermo, Italy

Richmond, 1993. "Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond", *System Dynamics Review* Vol. 9, no. 2 (Summer 1993):113-133

Richmond, 1994. "System Dynamics/Systems Thinking: Let's Just Get On With It", *Proceedings of the International Systems Dynamics Conference* in Sterling, Scotland

Sweeny y Sterman, 2002: "Cloudy skies: assessing public understanding of global warming", *System Dynamics Review* **18**(2):207

Sweeny y Sterman, 2000: "Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory", *System Dynamics Review* **16**(4): 249–286

Sterman, 2000: **Business dynamics - systems thinking and modeling for a complex world**, John Wiley, capítulo 1

Sterman, 2002: "All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist", *System Dynamics Review* **18**(4) – Winter 2002, p. 501-531

Wolstenholme, 2004: "Using generic archetypes to support thinking and modelling", *System Dynamics Review* **20**(4): 341-156

De manera complementaria, se recomiendan los siguientes libros:

Beer, 1981: **The brain of the firm**, John Wiley

Richardson, 1991: **Feedback thinking in the social sciences**, Pegasus Communications

Senge, 1990: **La quinta disciplina**, Granica

Senge, Ross, Smith, Roberts y Kleiner 1995: **La quinta disciplina en la práctica**, Granica

Senge, Ross, Smith, Roberts y Kleiner 2000: **La danza del cambio**, Granica

Los informes sobre los Objetivos del Milenio están en la Internet en:

www.unmillenniumproject.org/reports/spanish.htm

Los informes sobre el Desarrollo Humano están en:

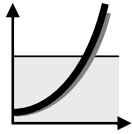
www.undp.org/spanish

hdr.undp.org/reports/global/2004/espanol

Los documentos sobre la relación entre ecosistema y bienestar humano están en

www.millenniumassessment.org

¿Por qué estudiar la dinámica de Sistemas?



Para ir más allá

(Vea la discusión de estos tópicos en el [sitio web del libro.](#))

Preguntas de concepto

1. ¿Qué se entiende por “resistencia frente a nuevas políticas”?
2. ¿Qué es un “efecto lateral”?
3. ¿Por qué el comportamiento de un sistema puede ser contra-intuitivo?
4. ¿Qué es un “sistema”?
5. ¿Por qué somos “ciegos” o “miopes”?
6. ¿Qué es el “pensamiento sistémico”?
7. ¿Qué es el ciclo IDA?
8. ¿Qué es una “política”?
9. ¿Cuál es la función de un modelo?
10. ¿Por qué modelamos?
11. ¿De qué está hecho un modelo?
12. ¿Cuáles son los conceptos principales de la dinámica de sistemas?

Preguntas de reflexión y diálogo

1. En el mundo de hoy, en su país, en su ciudad y en su organización, seguramente hay unos asuntos que – a su juicio – son preocupantes o problemáticos, y que han resistido los intentos de superarlos en el tiempo. Elija uno de estos asuntos, descríbalos brevemente, discútelos con colegas o compañeros.
2. ¿Alguna vez ha intentado de solucionar un problema complejo, y después de estar seguro de haber encontrado una o *la* solución, resultó algo imprevisto, alguna sorpresa desagradable? Elija uno de estos episodios descríbalos brevemente, discútelos con colegas o compañeros.

Preguntas de lectura

Peter Senge et al., **La quinta disciplina en la práctica**, la parte sobre “Pensamiento sistémico”

- ¿Qué es el comportamiento de referencia?
- ¿Qué es un modelo mental?
- ¿Cómo llegar a comprender una situación compleja?

2. Modelos y modelar

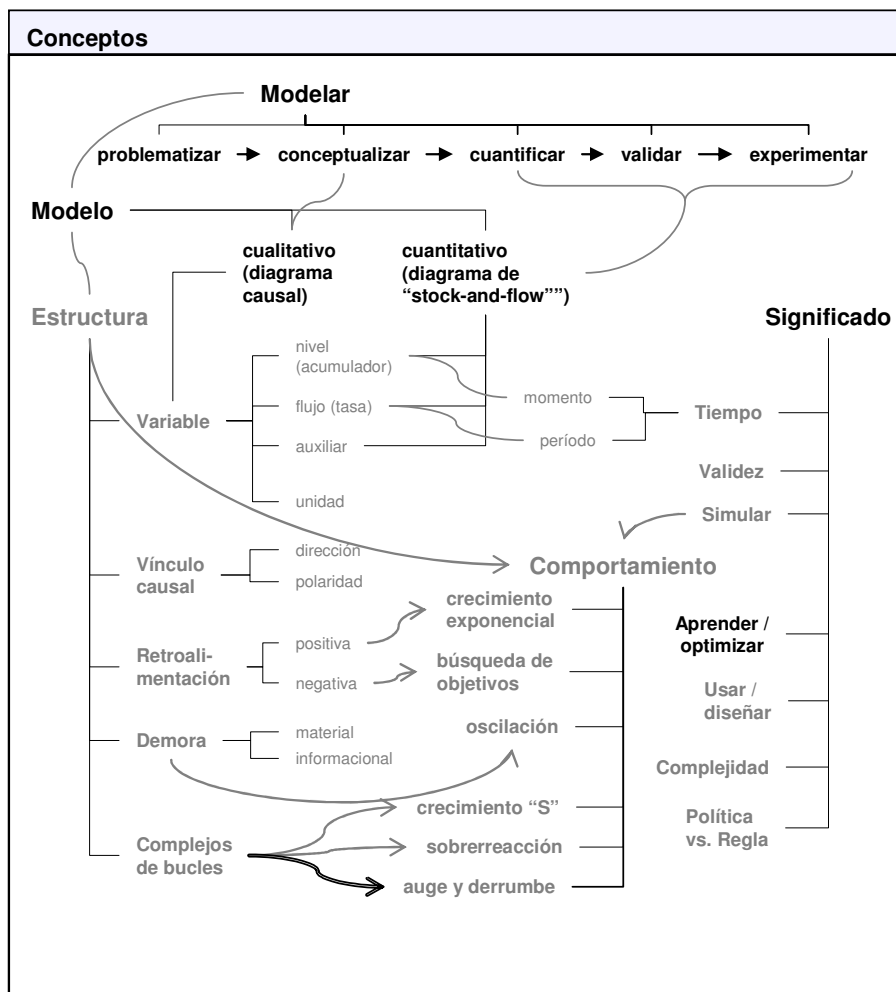
Sobre este capítulo

Objetivos

En este capítulo, se introduce el proceso de modelado de la dinámica de sistemas:

Luego se dan algunas recomendaciones para orientar la praxis del modelador.

Conceptos



Fases de un proyecto de modelamiento

A lo largo de los años desde el primer texto de referencia (Forrester, 1961), la manera de organizar proyectos de modelamiento ha sido globalmente constante, pero evolucionó en detalles. Aquí la presentamos en los términos usados por Sterman (2000, capítulo 3), que ha entrado en el vocabulario estándar.

Definir el problema

Cada modelo es una construcción humana en la que aparecen solamente algunos aspectos del mundo – los que son *relevantes*. No todas las cosas que podrían ser descritas (y modeladas) son relevantes. Por ejemplo:

- un modelo de un avión para evaluar sus características de aerodinámica, no requiere una representación de los elementos interiores del avión
- un modelo de la inflación en un país no requiere la representación de cada actor económico
- un modelo de gestión de bodega de una librería no requiere representación de cada texto individual.

En este sentido, no modelamos para descubrir “la verdad”. Mejor así, ya que ningún modelo es universalmente verdadero: todos tienen un ámbito de *validez* definido.

Lo que define este ámbito es el propósito del modelo: comprender la aerodinámica del avión, explicar la inflación de un país, optimizar una bodega de libros.

Si un modelo debe permitir elaborar respuestas, entonces el primer paso imprescindible es definir muy claramente cuál es la pregunta.

¿Cuál es el problema que resolver? ¿Cuál es la pregunta a responder?

En general, quienes “poseen” el problema lo pueden describir en términos de algunas variables. Pueden decir los valores actuales en relación con los deseados. Pero los datos actuales no son “comportamiento”; en este sentido, nosotros no buscamos la situación problemática, sino que la evolución problemática: “nuestros aviones tienen *cada vez peor* aerodinámica”, “nuestra inflación *ha ido en aumento*”, “nuestros costos de bodega *suben*”.

Las *series de tiempo* o *líneas en el tiempo* de estas variables constituyen un “comportamiento de referencia”. Es la expresión del problema y también una marca de comparación para la validación del modelo (mediante el cual queremos, entre otras cosas, poder explicar la génesis del problema).

Si llegamos a comprender las causas estructurales que son el trasfondo del aumento de costos de bodega, entonces tenemos la oportunidad de cambiarlas, de modo a deshacer el problema.

Forrester (1961, capítulo 5) recomienda:

Hacer una pregunta pertinente (que el modelo ayude a responder). El modelo será válido sólo para el propósito de responder a esta pregunta. Si no es importante la pregunta, tampoco lo podrá ser la respuesta.

Sterman (2000, capítulo 21) recomienda:

Propósito, conveniencia y frontera

- ¿Cuál es el propósito del modelo?
- ¿Cuál es la frontera? ¿Están los ítems importantes siendo tratados de manera endógena? ¿Qué variable importante ha sido asumida como exógena o excluida? ¿Se ha excluido a variables por falta de datos “duros”?
- ¿Cuál es el horizonte de tiempo relevante? ¿El modelo contiene las entidades que pueden cambiar de manera significativa en este periodo? ¿Es el nivel de agregación coherente con el propósito?

Elaborar un modelo conceptual o una hipótesis dinámica

Una vez que el propósito del modelo queda definido y el comportamiento de referencia con él, se trata de proponer una primera aproximación a la estructura detrás de estos comportamientos.

Tenemos que declarar variables y conexiones causales entre ellas, de manera de poder dar cuenta de cómo se generan los comportamientos problemáticos. Para ello, disponemos de tres fuentes de información: la experiencia de las personas involucradas (su base de información mental), fuentes escritas diversas y datos numéricos publicados.

Es importante que los destinatarios del modelo (los clientes, los usuarios) tengan la oportunidad de intervenir en este proceso, proponiendo, revisando, criticando: ellos son parte de un sistema que genera su problema, ellos deben comprender el modelo, ellos deberán aceptar sus consecuencias. Nosotros solamente ayudamos.

Esta primera aproximación puede tomar la forma de un “diagrama de bucle causal” (ver próximo capítulo) o de un “diagrama de flujos y acumuladores” (ver capítulo 4). El trabajo con diagramas causales requiere menos conocimientos técnicos, pero ha sido criticado por ser menos riguroso. La diferencia es que los diagramas causales como articulación de las creencias que se tienen, pueden usarse de modo “top-down”, lo que fácilmente conduce a la incorporación de suposiciones (o “pre-juicios”) que no han sido cuestionados. Ello es problemático ya que la dinámica de sistemas postula un pensamiento operacional, que parte desde la detección de los elementos hacia las estructuras menos directas, de modo “bottom-up”.

Un buen compromiso parece ser el uso de los llamados “diagramas de influencia” (Wolstenholme, 1990), que son básicamente diagramas de bucle causal donde para cada variable, se indica si es de tipo flujo o acumulador.

Forrester (1961, capítulo 5) recomienda:

Identificar todos los factores que se creen importantes (técnicos, legales, económicos, psicológicos...). El modelo sólo podrá generar descubrimientos con el material que se pone en él. Un factor que no se coloca corta todos los bucles de retroalimentación que pasan por él e influye, por lo tanto, en las posibilidades de comportamiento. Es preferible una estimación aproximada a la decisión de excluir algo importante (el análisis de sensibilidad ayudará a absorber la inseguridad resultante).

Preservar la estructura circular de las retroalimentaciones. El modelo se comportará como el sistema modelado, a condición que estos bucles sean parte de él. No siempre habrá evidencia empírica a priori de su existencia; nos tenemos que basar en la convicción de quienes conocen bien el sistema.

Cuantificar el modelo

Un diagrama de bucle causal es interesante y su análisis (cualitativo) muchas veces genera ideas y descubrimientos interesantes. Sin embargo, necesitamos la ayuda de herramientas para llegar a comprender estos modelos. En el caso de la dinámica de sistemas, esto significa la formulación de un modelo formal, con variables de flujo y de nivel, representadas internamente como ecuaciones diferenciales y simuladas por algoritmos de integración.

La cuantificación pasa por la elaboración de los flujos físicos y de las políticas en términos de estas variables, la estimación de las funciones que enlacen a las variables y la estimación de los valores de parámetros.

Forrester (1961, capítulo 5) recomienda:

Representar la distorsión de la información. Tenemos que imitar la situación real: si un gerente debe decidir en base de información con "ruido", así tiene que hacerlo nuestro modelo. El peligro es de modelar algo que no es, y por lo tanto perder toda posibilidad de validar el modelo o de descubrir algo con relevancia práctica.

Representar los retardos (las demoras). Si en el sistema real, un gerente se basa en un informe mensual de ventas, es importante incluir esto en el modelo (y no hacer depender la decisión del flujo de los datos de venta día por día, por ejemplo). El peligro es de modelar algo que no es, y por lo tanto perder toda posibilidad de validar el modelo o de descubrir algo con relevancia práctica.

Cada variable debe referirse a una entidad identificable en el mundo real. Modelamos para intervenir en el sistema. Por lo tanto, buscamos evaluar lo que pasará probablemente. Para esto, es importante no introducir componentes *ad-hoc* al modelo: si parece necesario introducir algo, es porque el modelo no se comporta como el sistema; pero si esto ocurre, significa que aún no comprendemos suficientemente bien el sistema, y no

podremos, por lo tanto, averiguar sobre posibles futuros (ni logramos reproducir el pasado).

La unidad de medida de la variable deberá ser la de la entidad real. En el mundo, las cosas son las cosas: si hay que usar minutos de emisión televisiva para influir en los consumidores, son “minutos de emisión”, no el valor de estos minutos en pesos u otras monedas.

Distintuir cantidades *actuales* de cantidades *conocidas*. Muchos de los procesos en el mundo son secuencias fluidas de micro-eventos que ocurren constantemente. En general, nuestras decisiones no se basan en ellos, sino que en alguna transformación:

No suponer a priori que el sistema es estable o lineal. En el ámbito de los sistemas sociales, hay buenas razones para asumir que existen muchos efectos no lineales y no todos los sistemas tienden a ser estables *per se*. Presuponer la linealidad y la tendencia hacia la estabilidad es entonces quitarse posibilidades *a priori*.

Sterman (2000, capítulo 21) recomienda:

Estructuras física y de decisiones

- ¿El modelo observa las leyes básicas de la física, como por ejemplo la conservación de la materia? ¿Las ecuaciones son consistentes en su dimensionalidad y sin artefactos arbitrarios de conversión?
- ¿La estructura de niveles y flujos es explícita y coherente con el propósito?
- ¿El modelo asume que el sistema esté en equilibrio todo el tiempo o permite dinámicas fuera del equilibrio?
- ¿Se han tomados en cuenta las demoras, restricciones y cuellos de botella?
- ¿Se supone que las personas sean “racionales” y optimicen su rendimiento? ¿Se toman en cuenta las limitaciones cognitivas, restricciones organizacionales, motivaciones no económicas y factores políticos?
- ¿Las decisiones tomadas en el modelo se basan en las mismas informaciones que tienen los tomadores de decisión reales? ¿Hay demoras, distorsión y ruido?

Validar el modelo

¿Cómo llegamos a confiar en el modelo? La pregunta es delicada: nos proponemos intervenir en el sistema modelado, en base a recomendaciones que derivan del modelo. Si el modelo corresponde lo suficiente al sistema, entonces las consecuencias de nuestra intervención en el modelo – probablemente- serán similares a las consecuencias en el sistema representado. Entonces, ¿cómo podemos saber que el modelo es confiable?

Hay una amplia gama de pruebas que conoceremos más en adelante, que en su conjunto nos ayudan a delimitar el ámbito de validez de un modelo.

Sterman (2000, capítulo 21) recomienda:

Robustez y sensibilidad respecto de supuestos

- ¿El modelo es robusto respecto de variaciones extremas en los valores de “input” o en las políticas de decisión?
- ¿Las recomendaciones derivadas, son sensible con respecto a variaciones plausibles en los supuestos, valores de parámetros, agregación y fronteras?

Pragmatismo y uso del modelo

- ¿Se documentó el modelo? ¿La documentación es públicamente disponible? ¿Se puede usar el modelo en su computador?
 - ¿Qué tipos de datos se usaron para desarrollar y probar el modelo?
 - ¿Cómo se ha descrito el proceso de modelar usado para desarrollar y probar el modelo, y cómo establecieron su confianza en él? ¿Terceros independientes y críticos han revisado el modelo?
 - ¿Los resultados son reproducibles? ¿Los modeladores han usado algún artefacto (no documentado) para obtener sus resultados?
 - ¿Cuánto cuesta ejecutar el modelo? ¿El presupuesto permite un análisis de sensibilidad serio?
 - ¿Cuánto tiempo se requiere para revisar y actualizar el modelo?
 - ¿El modelo es usado por sus modeladores o por terceros?
- ¿Cuáles son los sesgos, ideologías y agendas políticas de los modeladores y de los usuarios? ¿Cómo podrían éstos influir – intencionalmente o no – los resultados?

Explotar el modelo

Necesitamos un modelo explicativo, con el propósito de hacer experimentos de cambio. Se dice de la simulación que compacta el tiempo y el espacio: podemos simular en segundos y en una pequeña pantalla lo que en el mundo físico toma años y pasa a miles de kilómetros de distancia.

Una vez que tengamos confianza en el modelo, vamos a elaborar diferentes escenarios de cambio, y los sometemos a series de simulación para averiguar su sensibilidad. Así podemos establecer lo que muy probablemente pasará cuando se implemente cada una de las diferentes alternativas, y podemos derivar una recomendación: ¿cuál es el cambio que probablemente más nos convenga para superar el problema inicial?

Implementar las consecuencias, modelar y evaluar

Tradicionalmente, los dinamistas terminan su trabajo entregando su recomendación. Sin embargo, aún no ha cambiado nada en el mundo “real”. Si queremos que la comprensión generada durante el modelamiento ayude a mejorar la situación efectivamente, entonces es útil especificar de qué manera nuestras recomendaciones deben ser implementadas para cobrar efecto.

Según la visión de la dinámica de sistemas como parte de un doble bucle de aprendizaje (Sterman, 2000, p. 48), entonces no debemos parar una vez hecha la recomendación: tenemos que volver desde la esfera de las ideas a la de la acción.

La implementación tendrá sus efectos: algunos pueden ser los anticipados por el modelo, pero otros pueden no serlo. En este sentido, la implementación también es como una prueba empírica, que permite comprender dónde el modelo puede y debe ser revisado y mejorado.

Fuentes de datos

Dentro de una organización, las fuentes de datos son múltiples: hay personas que, después de trabajar durante años aquí, tienen una base de experiencia enorme. También hay fuentes escritas como manuales y reportes. Y por cierto, hay bases de datos y otros repositorios de información numérica. Cada una de estas fuentes de dato tiene sus ventajas y sus inconvenientes.

Los datos numéricos son precisos, pero sólo disponibles por lo que se midió. El comportamiento medido del sistema da cuenta de su dinámica en el marco de una situación histórica en particular, y no significa que el mismo sistema no pueda comportarse de otro modo en una constelación distinta. En este sentido, no es posible extrapolar del comportamiento pasado hacia el futuro sin precauciones. Tampoco es posible ver la estructura del sistema en estos datos, ya que se refieren solamente a lo que se ha observado directamente. Adicionalmente, puede ser que ciertos aspectos no han sido el objeto de mediciones y simplemente no se encuentran registrados.

Por ejemplo, puede ser que en una universidad, se registra la asistencia de los estudiantes a clase porque según el reglamento de estudio, la asistencia es obligatoria. Al mismo tiempo, en otra universidad no es obligatoria y no se registra. Sería falso concluir desde la inexistencia de registros numéricos acerca de la asistencia de los estudiantes a clase, que los estudiantes no asisten (o que asisten: en estricto rigor, hay que abstenerse de concluir); también sería incorrecto pensar que no se sabe si asisten, ya que de hecho se hace clase, y por ejemplo los docentes deberían saber desde su experiencia cómo es la asistencia.

Por lo anterior, es importante también considerar información de fuentes escritas (pero no numéricas). En la mayoría de las organizaciones, existen reglamentos, informes, actas de reuniones y memos. Son fuentes ricas, y pueden expresar aspectos sobre los cuales no hay registros numéricos. Sin embargo, son una fuente no sistemática, ya que no todo se anota en forma escrita.

Para seguir con el mismo ejemplo anterior, puede ser que en la plataforma en línea de los cursos, un docente haya intercambiado e-mails con estudiantes que, por alguna razón, faltaban en clase. Esto es muy interesante cuando se encuentra, pero no hay manera de saber si es una

práctica sistemática, y por lo tanto pueden haber existido muchos casos de inasistencia sobre los cuales nunca se intercambiaron e-mails.

Además, existe toda la base de informaciones mentales, que es la más rica porque muchas facetas de la experiencia de los actores en el sistema nunca se han escritas o articuladas. Dentro de sus ventajas se encuentra el hecho de que se puede conversar con su “repositorio” para averiguar y consultar reiteradamente. Mucho del conocimiento relevante, puede que sea tácito, que nunca se haya articulado antes del intento de modelar. No tomarlo en cuenta por ser subjetivo, es suponer que las variables y los vínculos que – según el mejor conocimiento disponible – importan para el problema, no existen o no importan: seguramente es un supuesto falso. Admitimos que se trata de información insegura y aplicamos pruebas de sensibilidad para comprender lo que esto significa para la utilidad y el ámbito de validez del modelo. Ello nos faculta a tomar en cuenta y explotar la base de información mental.

Claro está, hay un asunto de fiabilidad de la información “mental”, ya que queremos fabricar un modelo fiable. Para asegurarse de no pecar en este aspecto, la información mental se subdivide en tres categorías:

- La información acerca de la estructura (de la empresa) y las *políticas de decisión* suele ser muy confiable, ya que son relatos que vienen directamente desde las acciones de las personas. No obstante, se usan métodos de comparación y de triangulación para verificar la plausibilidad.
- Las *expectativas acerca del comportamiento futuro* del sistema, si bien pueden ser articuladas honestamente, suelen ser poco confiables. Es justamente el ámbito en el cual la mente humana se equivoca, razón de ser de la propuesta que hace la dinámica de sistemas.
- La información acerca del comportamiento pasado del sistema suele ser bastante fiable, y fácil de contrastar. Sirve para construir los modos de referencia, que nos ayudan a evaluar la fiabilidad del modelo.

Lea más sobre esto en Forrester, 1994

Documentación

La estructura modelada es el fruto de mucha reflexión, pero no da cuenta de todas las ideas, dudas y decisiones tomadas en el camino. ¿Adónde se conservan? Si no se conservan, los modeladores tendrán serios problemas para recordar lo que fue su proceso de trabajo; será aún peor para otras personas quienes desean comprender el modelo y poder confiar en él.

Recomendaciones respecto de la replicabilidad:

- Otras personas deben poder repetir el estudio y llegar a los mismos resultados, en base de la documentación.
- El modelo y la documentación deberían ser públicamente accesibles (si no hay restricciones comerciales o de seguridad).
- Todas las personas involucradas en el proyecto y afectadas por sus resultados, deben poder acceder al modelo y a la documentación.

Recomendaciones para la redacción:

- Asegure el más alto estándar de diseño gráfico y de redacción y respete los códigos y el lenguaje del ámbito al cual se dirige el modelo.
- Describa los supuestos: propósito, estructura, frontera, valores de parámetro, fuentes de datos.
- Organice el documento según la estructura del modelo y de sus submodelos.
- Presente un diagrama estructural y las ecuaciones para cada submodelo por separado.
- Presente las ecuaciones en un orden lógico para evitar que el lector tenga que buscar de forma compleja.
- Use nombres significativos para las variables.
- Use el nombre completo de las variables en la explicación de las ecuaciones, junto con la unidad de medida, la idea y el contexto de esta formulación y las fuentes de datos si se trata de valores de parámetros.
- Prepare un plan de sucesión, para que otros puedan llegar a comprender el modelo, usarlo y seguir desarrollándolo. Piense en identificar, reclutar y capacitar a personas para esto: una vez que usted siga avanzando a otras cosas, es mejor que no tenga que contestar muchos mails con peticiones de ayuda.

Actitud protectiva o reflexiva?

Vivimos en un mundo donde es importante tener la razón; sin embargo, modelamos para aprender. Hay que elegir entre dos actitudes.

Muchas veces nos sentimos deseosos u obligados a mostrar que sabemos y a tener la razón. Entonces el modelamiento sirve para comprobar nuestro punto de vista. Entonces necesitamos “blindar” a nuestro modelo, porque si alguien descubre un punto flaco, ya no aparecemos tan perfectos (si ser perfecto es tener siempre la razón). En este sentido, si en una u otra variable hubo que hacer un supuesto, mejor no lo revelamos porque justamente allí podría ser “atacable” el modelo (si desafiar un supuesto es “atacar” y si una crítica es un “ataque”). También podemos ceder a la tentación de eliminar ciertas variables o datos del modelo de modo selectivo, para superar un problema de validación. Yendo un poco más lejos en este camino, podríamos incluso intentar demostrar con un modelo una idea que ya teníamos antes, es decir modelar solamente para respaldar algo que ya supimos antes. Todas estas cosas tiene el efecto de promover la autoridad del modelador o del cliente para quien modela.

Sin embargo, podemos desear llegar a comprender algo que aún no comprendemos (lo suficientemente bien). Entonces buscamos la indagación (pensando que lo bueno no es siempre saber ya, sino que poder llegar a saber), más que tener la razón. Para este efecto, es importante revelar claramente los supuestos, porque en caso que uno se muestre como insostenible, ya hemos identificado una mejora: aprendimos algo nuevo. También tiene el buen efecto de reconocer lo que posiblemente limitará la validez (confiabilidad) del modelo: no queremos aplicar la política del avestruz. Por la misma razón no seleccionaremos los datos y las variables según si encajan con lo que necesitamos; más bien vamos a incluir todo lo que posiblemente será importante y someter el modelo a pruebas extensivas y duras. Tampoco partiremos de respuestas preconcebidas; todo lo contrario, deberíamos abrir el proceso a los diferentes puntos de vista de los diferentes actores. Esto lo hacemos en reconocimiento de la autoridad del propósito o de los clientes para quienes modelamos.

<i>protectivo</i>	<i>reflexivo</i>
comprobar el punto de vista	promover la indagación
esconder supuestos	exponer supuestos
usar datos de modo selectivo	motivar pruebas extensivas y en profundidad
apoyar preconcepciones y confortar resultados deseados previamente	desafiar preconcepciones y dar soporte a puntos de vista diversos
promover la autoridad del modelador	promover la autoridad de los beneficiarios del modelo

Tabla 1: dos actitudes frente al modelamiento

Usted podría encontrar que una de las actitudes es la ideal (pero utópica), y la otra la “real”. Sin embargo, queda invitado a meditar el asunto y guardar el espíritu correspondiente a su elección en los pasos por venir.

Hacia el modelamiento: criterios para evaluar un modelo

Para devenir un *dinamista de sistemas*, Usted deberá no solamente aprender a reflexionar con las estructuras básicas y sus comportamientos, sino que también apropiarse de los hábitos básicos que conducirán a un modelo útil o de buena calidad.

Se dirá que un modelo es de buena calidad si satisface un conjunto de criterios. Hasta este momento, podemos ya enunciar un grupo de ellos.

1. Definición del problema
 - a. Declaración del problema en términos de algunas entidades o variables;
 - b. Comportamientos de referencia para estas variables;
 - c. Definición del marco de tiempo sobre el cual hay que estudiar el caso para incluir a todos los efectos relevantes;
 - d. Declaración del propósito o preguntas que el modelo debe ayudar a responder.

Existen otros criterios, sobre todo acerca de la “validez” del modelo. Este punto será abordado en el Tomo 2.



En el trabajo personal del capítulo 1, Usted ha descrito un problema. Ahora elabore una definición de problema; use el formato disponible para ello (disponible en el [sitio web del libro](#)).

Haciendo el punto

Resumen

En este capítulo, se introduce el proceso de modelado de la dinámica de sistemas:

2. *Definir el problema.* El modelo debe responder una pregunta, que hay que definir muy claramente, junto con las conductas de referencia y la frontera.
3. *Elaborar un modelo conceptual.* Tenemos que captar toda la experiencia y toda la información disponible acerca de la pregunta en estudio, y así establecer las líneas orientadoras para el estudio cuantitativo. Se puede partir “top-down”, pero muchos prefieren el modo “bottom-up”.
4. *Cuantificar el modelo.* Requerimos simular para comprender bien, y ello hace necesario la cuantificación del modelo.

5. *Validar el modelo.* Varios conjuntos de pruebas se aplican para llegar a confiar en el modelo. Se refieren a la coherencia entre los elementos estructurales del modelo con el sistema que representa, la reproducción de las conductas de referencia, la plausibilidad del modelo bajo condiciones extremas y la sensibilidad respecto de los valores de los parámetros.
6. *Explotar el modelo.* Una vez que se puede confiar en el modelo, se procede a formular escenarios y comparar sus consecuencias dinámicas, de modo a llegar a recomendar políticas de decisión “probadas”.
7. *Implementar las conclusiones.* Si se aprendió algo a raíz del modelamiento, algunas conclusiones se implementarán. Es importante monitorear la implementación, ya que revelará elementos nuevos acerca de la validez del modelo (lo que permite continuar desarrollándolo).

Dado que modelamos para aprender, y que por ello queremos que nuestros modelos sean bien documentados, revelando sus supuestos y limitaciones en lugar de esconderlos.

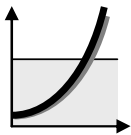
Bibliografía

Forrester, **Industrial dynamics**, MIT Press, capítulo 5

Forrester, 1994, “Policies, decisions and information sources for modeling”, en Morecroft y Sterman **Modeling for learning organizations**, Wiley, 1994

Sterman, 2000: **Business dynamics - systems thinking and modeling for a complex world**, John Wiley, capítulo 21

Wolstenholme, 1990. **Systems inquiry**, John Wiley



Para ir más allá

(Vea la discusión de estos tópicos en el [sitio web del libro.](#))

Preguntas de concepto

1. ¿Cuáles son las fases principales de un proyecto de modelamiento?
2. ¿Por qué es tan importante definir el problema y el propósito?
3. ¿Cuáles son las fuentes de información que usamos?
4. ¿Por qué cada elemento del modelo debe referirse a una parte identificada del sistema real?
5. ¿Por qué las unidades de medida son importantes?
6. ¿Para qué se estudia la sensibilidad del modelo?
7. ¿Por qué debemos revelar los supuestos?
8. ¿Cuáles son nuestras fuentes de información?
9. ¿Para qué es importante la documentación?

Preguntas de reflexión y diálogo

1. ¿Qué hacer cuando una variable se cree importante pero no se puede medir exactamente?
2. ¿Usted modelará con actitud reflexiva o protectora?
3. En el trabajo personal del capítulo 1, Usted ha descrito un problema. Ahora elabore una definición de problema; use el formato disponible para ello (“Definición de un problema.doc”, desde el CD o el sitio del libro) y vuelva a discutirlo con sus colegas o compañeros.