

XV
CONGRESO
INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA
ADMINISTRACIÓN
E
INFORMÁTICA



The logo consists of the Roman numerals 'XV' in a large, white, serif font, set against a dark blue background that is part of a larger graphic element in the top left corner.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DINÁMICOS PARA EVALUAR EL IMPACTO DE FACTORES DE RIESGO Y DETERMINANTES SOCIALES EN EL DESEMPEÑO DE POLÍTICAS SANITARIAS

Área de Investigación: Teoría de la Organización

AUTOR

Marisa Analía Sánchez

Doctora en Ciencias de la Computación

Universidad Nacional del Sur

Dpto. de Ciencias de la Administración

Teléfonos: +54 291 4595132,

Fax: +54 291 4595133

Correo electrónico: mas@uns.edu.ar

RESUMEN

UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DINÁMICOS PARA EVALUAR EL IMPACTO DE FACTORES DE RIESGO Y DETERMINANTES SOCIALES EN EL DESEMPEÑO DE POLÍTICAS SANITARIAS

Área de investigación: Teoría de la Organización

La prevención y el control de la tuberculosis pueden encuadrarse dentro de los problemas de gestión sanitaria que requieren un tratamiento sistémico. Investigaciones recientes sobre el impacto de los programas DOTS para el control de la tuberculosis desarrollados por la Organización Mundial de la Salud sugieren que, después de varios años de implementación exitosa, la incidencia no está disminuyendo con la rapidez que se esperaba. Diversos determinantes socio-económicos (tales como pobreza, educación, o acceso a servicios sanitarios) y la exposición de la población a factores de riesgo (por ejemplo, tabaco, SIDA, diabetes) tienen un gran impacto sobre la incidencia de la tuberculosis. Por lo tanto, resulta necesario determinar relaciones causales y áreas claves en las cuales deben focalizar los recursos quienes definen políticas sanitarias. El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo conceptual basado en dinámica de sistemas de la epidemiología de la tuberculosis y su relación con determinantes socio-económicos y factores de riesgo. El modelo permite entender cómo estos aspectos se combinan para conducir a un estado preocupante de la evolución de la tuberculosis. El trabajo incluye resultados de simulaciones y proyecciones para la República Argentina.

Palabras clave: Teoría de la Organización – Planificación Sanitaria – Sistemas Dinámicos.

PONENCIA

UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DINÁMICOS PARA EVALUAR EL IMPACTO DE FACTORES DE RIESGO Y DETERMINANTES SOCIALES EN EL DESEMPEÑO DE POLÍTICAS SANITARIAS

Área de investigación: Teoría de la Organización

1. Introducción

Las políticas sanitarias no siempre logran sus objetivos debido a la complejidad tanto del ambiente como del mismo proceso de implementación de políticas. Para resolver problemas en el área de la salud pública es necesario obtener un entendimiento de los sistemas involucrados y adoptar una perspectiva transdisciplinaria. Leischow (2008) destaca que el énfasis creciente en una ciencia transdisciplinaria, traslacional y centrada en redes refleja el reconocimiento de que la mayor parte de la causalidad de las enfermedades es multifactorial, dinámica, y no lineal (Leischow, y otros, 2008). La investigación transdisciplinaria se define como el proceso por el cual los miembros de un equipo representantes de diferentes campos trabajan en forma conjunta durante períodos extensos para desarrollar un marco conceptual y metodológico que integre y trascienda sus respectivas perspectivas disciplinarias (Stokols, Hall, Taylor, & Moser, 2008).

El modelado de sistemas dinámicos constituye una herramienta apropiada para analizar la complejidad dinámica de políticas a largo plazo de la salud pública. Los problemas dinámicos exigen una gestión y monitorio continuos. En el contexto específico de la gestión y desarrollo de políticas, los problemas dinámicos son aquellos de naturaleza persistente, crónica y recurrente (Barlas, 2002). Cuando se toman acciones de gestión, se observan los resultados, se evalúan y se toman nuevas acciones, produciendo nuevos resultados, observaciones y acciones. De esta forma, la mayoría de los problemas de gestión dinámica son problemas de retro-alimentación. El ciclo de retro-alimentación se produce entre la acción de control, el sistema, y entre las componentes del sistema. La dinámica de sistemas surgió a mediados de los años 50 como

XV

CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

una propuesta que considera sistemas dinámicos complejos. Las ideas fundamentales fueron desarrolladas por Jay Forrester en el MIT y postula que la conducta de tales sistemas resulta de la estructura subyacente de flujos, demoras, y relaciones de retro-alimentación (Forrester, 1961). Esta visión es consistente con el pensamiento sistémico que Senge denomina “quinta disciplina” y que considera a la dinámica de sistemas como parte de la organización que aprende (Senge, 1990).

Adamides sostiene que la dinámica de sistemas, con su capacidad para asistir en la formulación de teorías con hipótesis no-lineales y describir conductas que no son regulares con respecto al tiempo, introduce un actor durable en la red (Latour, 2005) de desarrollo de teorías organizacionales (Adamides, 2008).

La prevención y control de la tuberculosis puede encuadrarse dentro de los problemas que exigen un tratamiento sistémico. Se trata de una de las enfermedades que genera mayor mortalidad en los últimos años. El estándar internacional para el control de la tuberculosis es la estrategia World Health Organization’s DOT (Direct Observation of Therapy) cuyo objetivo es reducir la transmisión de la infección a través de un diagnóstico rápido y un tratamiento efectivo de pacientes sintomáticos que se presentan en unidades sanitarias. El tratamiento está basado en la supervisión estricta de la toma de medicamentos. Investigaciones recientes sobre el impacto de los programas DOTS para el control de la tuberculosis desarrollados por la Organización Mundial de la Salud sugieren que, después de varios años de implementación exitosa, la incidencia no está disminuyendo con la rapidez que se esperaba. En forma global y en la mayoría de las regiones, la prevalencia y la mortalidad decaen, pero no con la rapidez necesaria para alcanzar los objetivos del milenio establecidos por la OMS. De la incidencia anual estimada de 9.1 millones de casos de tuberculosis, solo 5.27 millones han sido notificados. Esto significa que aproximadamente el 40% no fue detectado o notificado a los programas DOTS (World Health Organization, 2009). En este contexto la OMS destaca la necesidad urgente de acelerar los esfuerzos en la detección temprana y en proporcionar un servicio sanitario de alta calidad.

Diversos determinantes socio-económicos (tales como pobreza, educación, o acceso a servicios sanitarios) y la exposición de la población a factores de riesgo (por ejemplo, tabaco,

XV

CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

SIDA, diabetes) tienen un gran impacto sobre la incidencia de la tuberculosis. Por lo tanto, resulta necesario determinar relaciones causales y áreas claves en las cuales deben focalizar los recursos quienes definen políticas sanitarias. El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo conceptual basado en dinámica de sistemas de la epidemiología de la tuberculosis y su relación con determinantes socio-económicos y factores de riesgo, y que permitan entender las causas de una dinámica no deseada y diseñar nuevas políticas que permitan eliminarlas o mitigarlas. El trabajo incluye resultados de simulaciones y proyecciones para la República Argentina.

2. Modelado de Sistemas Dinámicos en Salud Pública

El modelado basado en dinámica de sistemas fue desarrollado por Jay W. Forrester y ha cobrado relevancia en los últimos años ante la necesidad de modelar sistemas complejos. La dinámica de sistemas es una metodología para modelar las fuerzas de cambio en un sistema complejo dinámicamente de forma tal que sus influencias puedan entenderse mejor. Existe una tradición en el uso de la simulación dinámica para estudiar inquietudes en las ciencias sociales. Actualmente, se cubren áreas de la salud pública (Horner & Hirsch, 2006), (Thompson & Duintjer Tebbens, 2008), bienestar social (Zagonel, Rohrbaugh, & Andersen, 2004), desarrollo sustentable (Dudley, 2008), seguridad (Bontkes, 1993), entre muchas otras. La metodología es iterativa, permite que diversos stakeholders combinen su conocimiento de una problemática en una hipótesis dinámica y luego, utilizando simulación computacional, comparen formalmente varios escenarios sobre cómo conducir el cambio (Andersen, Richardson, & Vennix, 1997). El énfasis de la dinámica de sistemas no está en predecir el futuro, sino en aprender cómo las acciones en el presente pueden desencadenar reacciones en el transcurso del tiempo (Senge, 1990). Aún cuando no es posible determinar con cierto grado de certeza el valor de constantes o tasas de cambio, el modelo se utiliza como herramienta de aprendizaje para determinar caminos causales y factores relevantes.

La simulación y la dinámica de sistemas introducen condiciones de laboratorio en la investigación de las ciencias sociales. Ghaffarzadegan (Ghaffarzadegan, Lyneis, & Richardson, 2008) destaca que los problemas vinculados con la formulación de políticas públicas tienen



CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

características que impiden su resolución con técnicas tradicionales diferentes a la simulación, a saber, resistencia del medio ambiente a la política; necesidad de experimentar y el costo de experimentar; necesidad de persuadir a diferentes stakeholders; extrema confianza de los hacedores de políticas; y necesidad de analizar desde una perspectiva endógena. La resistencia ocurre cuando las acciones desencadenan una respuesta del ambiente que contamina la política y exacerba el problema original. Esta situación es común cuando hay demoras prolongadas entre la acción y los resultados. El tema de la extrema confianza en la gestión ha sido tratado por numerosas investigaciones. Brevemente, se puede destacar que la confianza en demasía combinada con la complejidad de las políticas públicas, donde muchas veces los beneficios no se perciben a través de la intuición, puede ser un obstáculo serio a la hora de formular políticas. La necesidad de la perspectiva endógena se refiere a la capacidad de reconocer (tanto a nivel individual como organizacional) que muchos eventos son el resultado de factores internos. Senge considera este problema en términos del aprendizaje organizacional (Senge, 1990).

Un aspecto central en la dinámica de sistemas es que la conducta compleja de las organizaciones y sistemas sociales son el resultado de la acumulación –de gente, materiales, o capitales financieros- y de mecanismos de balance y retro-alimentación. El primer paso para desarrollar un modelo dinámico es desarrollar las hipótesis que explican la causa de un problema y definir un Diagrama de Ciclo Causal. El diagrama constituye una herramienta de análisis del problema, para luego definir un modelo formal utilizando un conjunto de ecuaciones diferenciales que pueden analizarse matemáticamente para determinar condiciones de convergencia. Además, a partir del modelo se desarrollan simulaciones que permiten realizar experimentos numéricos y analizar escenarios.

Numerosos autores destacan el aporte del modelado matemático en epidemiología (Chubb & Jacobsen, 2010). Para el caso de la tuberculosis existen modelos matemáticos para estudiar la dinámica de la tuberculosis, la diseminación del HIV, la aparición de tuberculosis multi-resistente a drogas, entre otros. La mayoría de estos modelos pertenece a la clase de modelos SEIR en los cuales la población se categoriza en uno de los estados de infección susceptible, expuesto, infeccioso o recuperado. Uno de los principales atributos de estos modelos es que la

XV

CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

tasa de infección es función de los infecciosos en un instante t , y luego es un término no lineal. Otras transiciones del modelo se representan como términos lineales con coeficientes constantes. En la mayoría de estos modelos existe una conducta de umbral que permite determinar bajo qué condiciones se logra el estado de equilibrio que indica que una epidemia está controlada. De todos modos, con el objetivo de hacer a estos modelos tratables, se efectúan simplificaciones y se realizan supuestos un tanto irreales, y que afectan notablemente la determinación del punto de equilibrio del sistema bajo estudio. Hay numerosas propuestas para subsanar estos problemas. Por ejemplo, en (Gomes, Franco, & Medley, 2004), (Cohen, Colijn, Finklea, & Murray, 2007), (Feng, Castillo, & Capurro, 2000) se incorpora la re-infección; en (Cohen & Murray, Modeling Epidemics of Multidrug-resistant Tuberculosis of Heterogeneous Fitness, 2004) se considera la inmunidad; en (Blower, Small, & Hopewell, 1996) se considera tratamientos preventivos; otros proponen modelos en los cuales las tasas de transmisión dependen de la edad (Vinnicky & Fine, 1997).

En los trabajos mencionados previamente el impacto de los elementos de riesgo y sociales no se incorpora explícitamente sino a través de los valores definidos para la tasa de infección, el número de contactos, la duración del tratamiento, etc. Por otro lado, en (Horner & Hirsch, 2006) se propone una visión integral del cuidado de la salud. En el trabajo se examinan las interacciones entre prevalencia, condiciones de vida adversas, y la capacidad de la comunidad para accionar. No está desarrollado para ninguna enfermedad en particular, de todos modos, los análisis de sensibilidad muestran el efecto de diferentes medidas de asistencia en el corto y largo plazo.

3. Modelo propuesto

La Organización Mundial de la Salud en su reporte del DOTS Expansion Working Group (World Health Organization, 2009) incluye un marco conceptual para una mejor detección temprana de los casos de tuberculosis. El modelo esquematiza los procesos desde la infección a la notificación y explicita las demoras y otros obstáculos del sistema de salud. El modelo pone en contexto el rol de las componentes de la estrategia Stop TB. A diferencia de los primeros

XV

CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

modelos de la estrategia, esta propuesta hace explícitos los factores que interfieren en la implementación de la estrategia.

Este modelo constituye una de nuestras fuentes de inspiración para definir un modelo epidemiológico de la dinámica de la tuberculosis que permita analizar el impacto de factores de riesgos y determinantes sociales en la incidencia de la enfermedad. Como mencionamos en la sección anterior, el impacto de los elementos de riesgo y sociales se incorporan implícitamente cuando se calibran los valores para la tasa de infección, el número de contactos, la duración del tratamiento, etc. De esta forma, si bien es posible utilizar el modelo para efectuar proyecciones, no es posible analizar y cuantificar el impacto de los factores de incidencia en los diferentes parámetros del modelo. Nuestra propuesta supera estas limitaciones y permite estudiar el impacto de diferentes estrategias sanitarias desde una perspectiva amplia y holística. A continuación, se describen algunos factores de riesgo y determinantes sociales incluidos en nuestro modelo.

3.1. Factores de riesgo y determinantes sociales

En (Lönnroth & Raviglione, Global Epidemiology of Tuberculosis: Prospects for Control, 2008) se analizan los principales factores de riesgo vinculados con la tuberculosis. Incluso se brinda una estimación del riesgo relativo de desarrollar la tuberculosis para cada población de riesgo (ver Tabla 1).

Tabla 1: Riesgos relativos de una Tuberculosis activa.

	Riesgo relativo de una tuberculosis activa
HIV	26.7
Desnutrición	3.2
Diabetes	3.1
Alcohol	2.9
Fumador activo	2.6
Contaminación de aire en interiores	1.5

El impacto de los factores de riesgo cambia para diferentes regiones. Por ejemplo, el HIV y la desnutrición son muy importantes en África; mientras que la diabetes tiene mayor relevancia en

XV

CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

Europa o Estados Unidos. En la República Argentina, las proyecciones indican que la prevalencia de la diabetes aumentará (Sánchez, Pagliari, Acrogliano, Schneider, & Belloni, 2010). De acuerdo a datos publicados por la Organización Mundial de la Salud, el porcentaje de pacientes tuberculosos con diagnóstico de HIV asciende en 2008 al 7% para la República Argentina.

En (Lefebvre & Falzon, 2008) se cuantifica el riesgo de fallecimiento para pacientes de tuberculosis asociado a factores demográficos y clínicos en quince países de Europa. Uno de los principales hallazgos es que la edad avanzada y la resistencia a isoniazid y rifampicin resultaron los principales determinantes de muerte. Los autores concluyen que dado el gran riesgo de fallecimiento con tuberculosis multi-resistente a drogas (MDR), una adhesión estricta a los regímenes de tratamiento prescritos, el testing temprano de susceptibilidad a las drogas, y la utilización adecuada de medicación son cruciales para prevenir el crecimiento y propagación de resistencia a las drogas. En Argentina, el número de pacientes MDR-tuberculosis notificados es de 142 para el 2008.

Otro de los factores de riesgo que se incluye en la literatura es el alcohol. En (Lönnroth & Raviglione, Global Epidemiology of Tuberculosis: Prospects for Control, 2008) se destaca la presencia de un patrón social que incluye una alta exposición al alcohol y a ambientes de riesgo de infección de tuberculosis; y el incremento del riesgo a la activación de la enfermedad debido al efecto directo e indirecto del alcohol sobre el sistema inmunológico. Los efectos indirectos se manifiestan con los desórdenes introducidos por el alcohol tales como mala nutrición, enfermedades crónicas, etc.

Como se puede apreciar, existen numerosas investigaciones que revelan el efecto de numerosos factores de riesgo y condiciones socio-económicas en la incidencia de la tuberculosis. A continuación, se presenta un modelo que incluye estos aspectos para entender cómo se combinan para definir un estado preocupante de la evolución de la enfermedad.

3.2. Componentes del modelo

En la Figura 1 se presenta el modelo utilizando un Diagrama Causal. En el mismo se muestran las interacciones entre los estados de pacientes con tuberculosis, y las condiciones adversas, la

XV

CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

prevención primaria, el hacinamiento, la educación sanitaria, los obstáculos para que un individuo acceda al sistema sanitario, el impacto de estrategias como DOTS, y factores de riesgos tales como la diabetes o HIV. El modelo consiste de relaciones causales. Una relación causal significa que la variable de entrada tiene una influencia causal en la variable de salida. Una influencia positiva significa “un cambio en , siendo el resto de variables igual, ocasiona que cambie en la misma dirección. Por ejemplo,

El símbolo + denota una causalidad positiva. Por otro lado, una influencia negativa significa “un cambio en , siendo el resto de variables igual, ocasiona que cambie en la dirección opuesta”. Por ejemplo,

Las expresiones “el aumento en las condiciones adversas incrementa a la población vulnerable”; “la mejora en la estrategia DOTS aumenta la cantidad de pacientes tratados”; o “el aumento en el período de demora del paciente a acceder al servicio sanitario disminuye la cantidad de individuos que acceden” son ejemplos de relaciones causales. Como se puede observar, el sistema está dominado por un ciclo de retro-alimentación positiva que puede ser evitado disminuyendo las condiciones adversas y aumentando la prevención primaria. De esta forma, se evita que la población esté expuesta a la enfermedad. Luego, una vez en el “círculo de la enfermedad”, se deja de alimentar mejorando el screening (búsqueda de la enfermedad), la pobreza, la educación sanitaria, o la cobertura de DOTS.

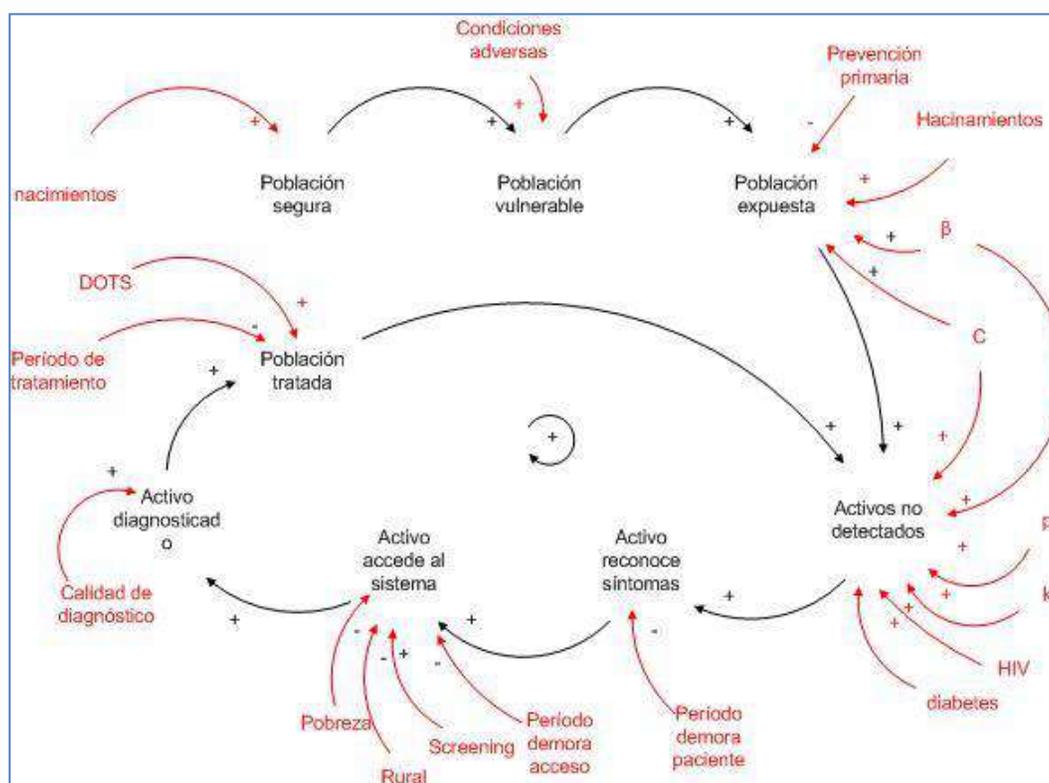


Figura 1: Modelo global de la dinámica de la tuberculosis. Fuente: Elaboración propia.

A partir de este marco conceptual se definió el modelo utilizando un sistema de ecuaciones diferenciales. A efectos de hacer la presentación más simple, se incluye parte del modelo en forma gráfica en la Figura 2. La población se divide en las siguientes clases epidemiológicas o subgrupos: Población Segura, Población Vulnerable, Población expuesta, Activos no detectados, Activos reconoce síntomas, Activos accede al sistema, Activos diagnosticado, y Población tratada. La diferencia más significativa de este modelo con respecto a otros es que se desagrupan diferentes clases para la población con tuberculosis activa. Esto permite representar el efecto de las demoras desde que el individuo es infeccioso hasta que inicia el tratamiento. Asumimos que un individuo puede infectarse a través del contacto con otros individuos infecciosos (tuberculosis activa). β (Beta) y β son los números promedio de

individuos susceptibles y tratados, infectados por un individuo infectado por contacto por unidad de tiempo, ; C es la tasa de contacto per-cápita; K es la tasa con la cual un individuo deja la clase latente y se convierte en infeccioso; r es la tasa de tratamiento per-cápita. El término p — modela la tasa de re-infección exógena y p representa el nivel de re-infección.

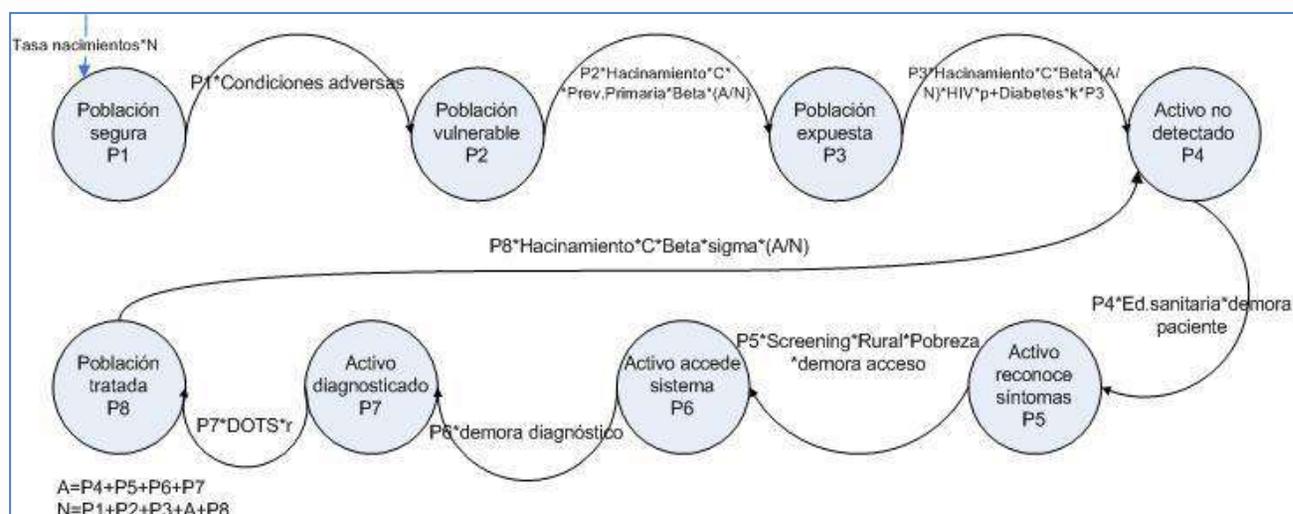


Figura 2: Modelo básico de la dinámica de tuberculosis. Fuente: elaboración propia.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

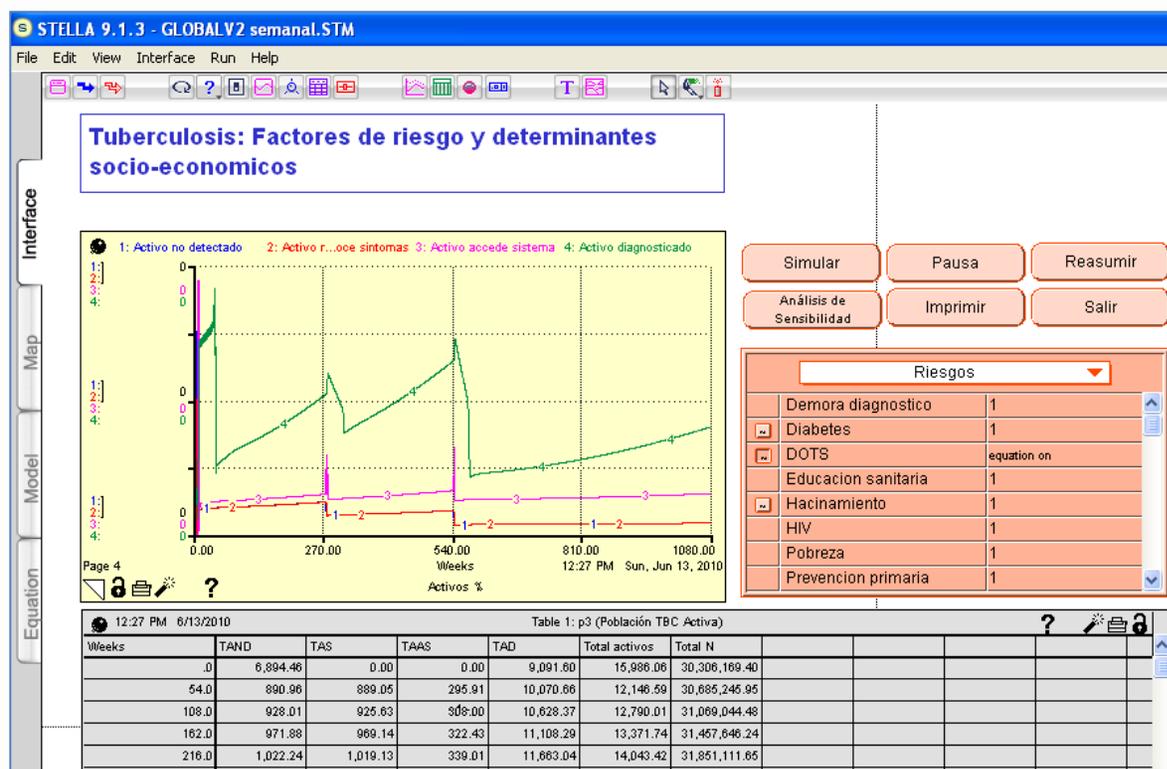


Figura 3: Vista parcial de la interfase del simulador.

Se tradujo este modelo al lenguaje de simulación continua Stella™. Se realizaron varios experimentos de simulación para analizar escenarios y determinar los factores de mayor impacto en la prevalencia de la tuberculosis. La Figura 3 incluye parte de la interfase del simulador que fue diseñada para facilitar la actualización de los parámetros. A continuación, se presentan algunos resultados de la simulación.

3.3. Resultados de la simulación

El principal obstáculo para calibrar el modelo de simulación es la falta de datos estadísticos que permitan ponderar el impacto de los diferentes determinantes socio-económicos y factores de riesgos sobre la prevalencia de la enfermedad. Por lo tanto, se procedió de la siguiente forma: se tomó como base el modelo de la dinámica de la tuberculosis calibrado con datos para la República Argentina desarrollado en investigaciones anteriores y datos publicados por el

XV

CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, 2007), y se consideró ese modelo como representante del statu quo. Como los determinantes socio-económicos y factores de riesgo se explicitan como constantes que multiplican a diferentes tasas de cambio (para reflejar su impacto), se asignó el valor 1 a esas constantes (excepto para DOTS dado que su cobertura no se considera del 100%, ver Tabla 2). Con esos valores se asume que el modelo refleja la situación actual. Luego, se construyen escenarios que reflejan condiciones peores a la actual, y se analiza el impacto sobre la prevalencia de la tuberculosis. Por ejemplo, para efectuar un análisis de sensibilidad del sistema a un incremento del hacinamiento del 10% con respecto al statu quo se asigna el valor 1.10 a la constante correspondiente.

Tabla 2: Factores de riesgo y determinantes sociales considerados.

Parámetro	Descripción	Tasas Escenario Statu quo	Valores Escenario pesimista (ejemplo)
Demora diagnóstico	Período desde que se inicia el tratamiento hasta que se tiene el diagnóstico.	1 semana.	Más de una semana.
Diabetes	Impacto promedio de diabetes sobre k.	1 (no tiene impacto)	1.01 (incrementa k en un 1%)
DOTS	Impacto promedio sobre el período de tratamiento.	0.9 (no hay variación con respecto al éxito actual).	1.10 (incrementa el período de tratamiento en un 10%).
Educación sanitaria	Impacto en el periodo de demora del paciente en reconocer que tiene síntomas.	1 (no hay variación con respecto a la situación actual).	1.10 (incrementa el período de demora del paciente en 10%).
Hacinamiento	Impacto del hacinamiento en el número de contactos C.	1 (condiciones sin variación)	1.10 (incremento de C en un 10%).
HIV	Impacto de HIV sobre p.	1 (condiciones sin variación).	1.05 (incremento de p en un 5%).
Pobreza	Impacto de población rural en la demora en el acceso a servicios sanitarios.	1 (condiciones sin variación).	1.10 (aumento en población rural y aumenta en un 10% el período de acceso).
Prevención primaria	Impacto de estrategias de	1 (statu quo)	0.80 (Mensualmente la



CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

	prevención sobre la tasa de contagio. Si mejora disminuye la población expuesta.		tasa de población expuesta aumenta un 1/0.80).
Protección general	Impacto de políticas de protección sobre las condiciones adversas.	1 (condiciones sin variación).	0.70 (Incremento de las condiciones adversas 1/0.70).
Condiciones adversas	Condiciones socio-económicas. Si empeoran aumenta la población vulnerable.	0.001 (statu quo)	0.002 (Incremento de la tasa de población vulnerable en un 0.2% con respecto al statu quo).
Rural	Impacto de población rural en la demora en el acceso a servicios sanitarios.	1 (statu quo).	1.10 (aumento en población rural y aumenta en un 10% el período de acceso).
Screening	Calidad de herramientas de screening.	1 (statu quo).	0.90 (aumenta en un 1/0.90 el período acceso).
Período demora paciente	Período que demora el paciente en reconocer que tiene síntomas.	1 semana.	2 semanas.
Período demora acceso	Período que demora el paciente en acercarse al sistema sanitario.	1 semana.	2 semanas.

El modelo se inicializa con datos de la población y cantidad de tuberculosos notificados correspondiente al período 1985-2005 (Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, 2007), se simulan 20 años para calibrar los parámetros del modelo (ver resultados en Anexo I). Luego, se analizan diferentes escenarios para los próximos 10 años. Se definen los valores iniciales para las distintas poblaciones con los valores finales resultantes del modelo calibrado para 2005. El método de integración es Runge-Kutta 4 con un paso semanal.

A modo de ilustración, se incluyen los resultados de analizar escenarios para DOTS, Hacinamiento y Prevención Primaria. Cabe destacar que los valores utilizados son orientativos debido a que no existen estudios empíricos al respecto. La Tabla 3 incluye el total de activos (infecciosos) para diferentes escenarios. La mejora en DOTS se refiere a que luego de la semana 1080, la cobertura es del 100% y los tratamientos finalizan en 6 meses (escenario ideal). La peor situación de hacinamiento refleja el impacto de un 10% en el hacinamiento. En

XV

CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

el modelo propuesto se supone que el hacinamiento incide directamente en el número de contactos, lo cual contribuye a incrementar a la población expuesta y a los activos (infecciosos). El aumento de la incidencia de la diabetes, se supone que incrementa el riesgo de activar la enfermedad, por lo tanto, aumenta el valor para el factor k (tasa con la cual un individuo deja la clase latente y se convierte en infeccioso). Finalmente, la disminución de la prevención primaria con respecto al statu quo incrementa la cantidad de población expuesta, lo cual redundará en un mayor número de individuos con tuberculosis activa (ver Figura 4). Como se puede observar, la evolución de la tuberculosis es muy sensible a estos parámetros.

Tabla 3: Proyecciones para 10 años. Análisis de sensibilidad para el número de activos con respecto a cambios en el desempeño de la estrategia DOTS; al aumento en la prevalencia de Diabetes; a disminución de la prevención primaria.

Semana	Total Activos								
	DOTS=0.8	DOTS=0.9	DOTS=1 (statu quo)	Diabetes=1 (statu quo)	Diabetes=1.2	Diabetes=1.3	Prev.p.=0.8	Prev.p.=0.9	Prev.p.=1 (statu quo)
0	12,288.85	12,288.85	12,288.85	12,288.85	12,288.85	12,288.85	12,288.85	12,288.85	12,288.85
54	14,073.11	12,596.53	11,399.97	11,549.08	12,863.71	14,146.89	11,615.11	11,495.36	11,399.97
108	14,619.78	12,928.85	11,583.91	11,750.52	13,086.48	14,385.98	12,103.50	11,812.80	11,583.91
162	15,207.25	13,283.61	11,784.40	11,969.36	13,331.42	14,652.40	12,624.53	12,151.92	11,784.40
216	15,831.73	13,661.03	12,000.73	12,204.72	13,597.44	14,944.81	13,178.95	12,512.50	12,000.73
270	16,494.49	14,061.28	12,232.62	12,456.35	13,884.23	15,262.80	13,768.05	12,894.78	12,232.62
324	17,196.88	14,484.62	12,479.84	12,724.08	14,191.54	15,606.05	14,393.22	13,299.05	12,479.84
378	17,940.35	14,931.34	12,742.21	13,007.77	14,519.21	15,974.35	15,055.92	13,725.65	12,742.21
432	18,726.44	15,401.81	13,019.59	13,307.34	14,867.16	16,367.59	15,757.74	14,174.99	13,019.59
486	19,556.80	15,896.42	13,311.89	13,622.74	15,235.34	16,785.70	16,500.31	14,647.49	13,311.89
Final	20,433.14	16,415.63	13,619.08	13,953.98	15,623.75	17,228.72	17,285.39	15,143.66	13,619.08

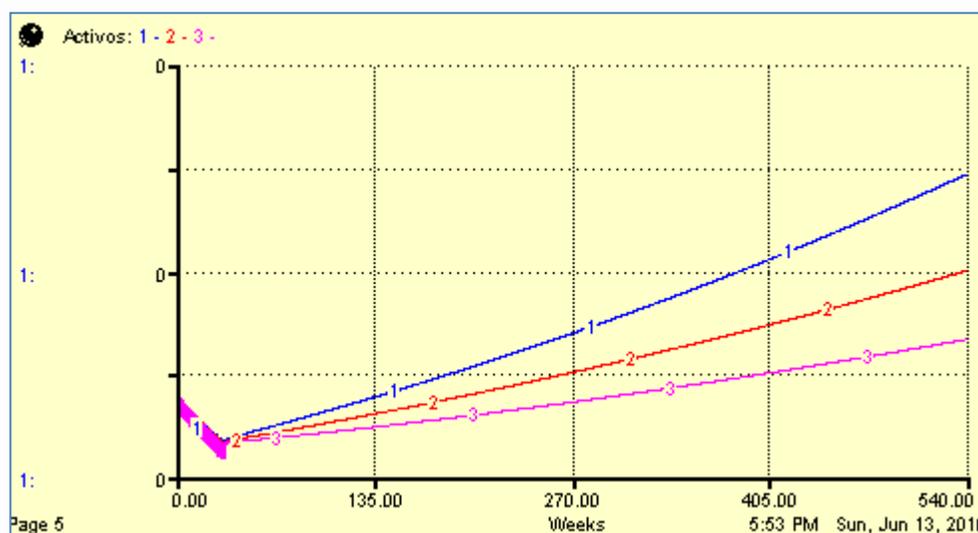


Figura 4: Proyecciones para 10 años. Análisis de sensibilidad para el número de activos con respecto a la disminución en la prevención primaria (1:Prev. Prim.=0.8; 2:Prev. Prim.=0.9; 3:Prev. Prim.=1).

4. Conclusiones

En este trabajo se describe el problema de la complejidad del proceso de definición e implementación de políticas sanitarias. El caso de la prevención y control de la tuberculosis ilustra la importancia de considerar las relaciones causales, y de adoptar una perspectiva endógena para entender la conducta. Se vincularon los resultados de investigaciones diversas, desde las ideas de Jay Forrester, Senge hasta las propuestas más actuales como la investigación transdisciplinaria.

Se realizó una breve reseña de las propuestas para modelar la dinámica de la tuberculosis y se describió por qué resultan limitadas para cuantificar el efecto de factores de riesgos y determinantes socio-económicos. Dada la importancia de estos aspectos sobre el éxito de la estrategia DOTS resulta de interés investigar de qué forma se pueden modelar. Se propone un modelo más realista de la evolución de la enfermedad que incluye estos aspectos. El modelo se desarrolló para permitir el análisis de los cambios dinámicos de los riesgos y determinantes socio-económicos y entender cómo estos aspectos se combinan para conducir a un estado



CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

preocupante de la evolución de la tuberculosis. De esta forma, se logra una propuesta con una visión menos reduccionista y que se espera sea más eficaz para lograr soluciones robustas. Una de las principales restricciones para validar el modelo fue la falta de datos estadísticos. Por lo tanto, se desarrolló un modelo que permita efectuar análisis de diferentes escenarios aún cuando se carece de evidencia empírica para definir valores para muchos de los parámetros. El modelo resultante debe interpretarse como el paso inicial para determinar con mayor precisión el efecto de factores de riesgo y determinantes sociales sobre la dinámica de la tuberculosis. Finalmente, como trabajo futuro se propone analizar el modelo para obtener la tasa reproductiva básica, las condiciones para la existencia de un equilibrio no trivial y las condiciones de umbral para la estabilidad del equilibrio.

BIBLIOGRAFÍA

- Adamides, E. (2008). System Dynamics Modelling in the Development of Management and Organisational Theory. *26th International Conference of the System Dynamics Society*. Athens: System Dynamics Society.
- Andersen, D., Richardson, G., & Vennix, J. (1997). Group model building: adding more science to the craft. *System Dynamics Review*, 13 (2), 187-201.
- Barlas, Y. (2002). System dynamics: Systemic Feedback Modeling for Policy Analysis. En UNESCO, *Knowledge for Sustainable Development - An Insight into the Encyclopedia of Life Support Systems* (págs. 1131-1175). Oxford: UNESCO-Eolss Publishers, Paris, France.
- Blower, S., Small, P., & Hopewell, P. (1996). Control Strategies for Tuberculosis Epidemics: New Models for Old Problems. *Science*, 273 (5274), 497-500.
- Bontkes, T. E. (1993). Dynamics of rural development in southern Sudan. *System Dynamics Review*, 9 (1), 1-21.
- Chubb, M., & Jacobsen, K. (2010). Mathematical modeling and the epidemiological research process. *European Journal Epidemiology*, 25, 13-19.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

Cohen, T., & Murray, M. (2004). Modeling Epidemics of Multidrug-resistant Tuberculosis of Heterogeneous Fitness. *Nat Med*, 10 (10), 1117-21.

Cohen, T., Colijn, C., Finklea, B., & Murray, M. (2007). Exogenous Re-Infection and the Dynamics of Tuberculosis Epidemics: Local Effects in a Network Model of Transmission. *J R Soc Interface*, 4 (14), 523-31.

Dudley, R. (2008). A basis for understanding fishery management dynamics. *System Dynamics Review*, 24 (1), 1-29.

Feng, Z., Castillo, C., & Capurro, A. (2000). A Model for Tuberculosis with Exogenous Reinfection. *Theoretical Population Biology* (57), 235-47.

Forrester, J. (1961). *Industrial Dynamics*. Massachusetts: Pegasus Communications.

Ghaffarzadegan, N., Lyneis, J., & Richardson, G. (2008). Why and How Small Systems Dynamics Models Can Help Policymakers: A Review of Two Public Policy Models. *26th International Conference of the System Dynamics Society*. Athens: Systems Dynamics Society.

Gomes, M., Franco, A., & Medley, G. (2004). The Reinfection Threshold Promotes Variability in tuberculosis Epidemiology and Vaccine Efficacy. *Proc. Biol. Sci.*, (pp. 617-623).

Horner, J., & Hirsch, G. (2006). *American Journal of Public Health* (96), 452-458.

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. (2007). *Notificación de Casos de Tuberculosis en la República Argentina. Período 1980-2006. PRO.TB.Doc.Tec. 07/07*. Ministerio de Salud.

Latour, J. (2005). *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-network Theory*. Oxford: Oxford University Press.

Lefebvre, N., & Falzon, D. (2008). Risk factors for death among tuberculosis cases: analysis of European surveillance data. *European Respiratory Journal*, 31, 1256-1260.

Leischow, S., Best, A., Trochim, W., Clark, P., Gallagher, R., Marcus, S., y otros. (2008). Systems Thinking to Improve the Public's Health. *American Journal of Preventive Medicine*, 35 (2S), 196-203.

Lönnroth, K., & Raviglione, M. (2008). Global Epidemiology of Tuberculosis: Prospects for Control. *Semin Respir Crit Care Med* (29), 481-491.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

Lönnroth, K., & Raviglione, M. (2008). Global Epidemiology of Tuberculosis: Prospects for Control. *Semin Respir Crit Care Med* , 29, 481-91.

Sánchez, M. A., Pagliari, S., Acrogliano, P., Schneider, D., & Belloni, D. (2010). Prevalencia de la Diabetes en la República Argentina: Proyecciones Utilizando Simulación Dinámica. *Congreso Argentino de Informática en Salud, parte de Jornadas Argentinas de Informática*. Buenos Aires.

Senge, P. (1990). *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization*. New York: Doubleday/Currency.

Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. New York: McGraw-Hill.

Stokols, D., Hall, K., Taylor, B., & Moser, R. (2008). The science of team science: overview of the field and introduction to the supplement. *American Journal of Preventive Medicine* , 35 (2S), 77-89.

Thompson, K., & Duintjer Tebbens, R. (2008). Using system dynamics to develop policies that matter: global management of poliomyelitis and beyond. *System Dynamics Review* , 24 (4), 433-449.

Vinnicky, E., & Fine, P. (1997). The Natural History of Tuberculosis: The Implications of Age-dependent Risks of Disease and The Role of Infection. *Epidemiol. Infect.* (119), 183-201.

World Health Organization. (2009). *Report of the Meeting of the DOTS Expansion Working Group. Engaging professional Associations in TB Control*. Geneva: WHO.

World Health Organization. (2009). *Report of the Meeting of the DOTS Expansion Working Group. Engaging professional Associations in TB Control*. Geneva: WHO.

Zagonel, A., Rohrbaugh, J., & Andersen, D. (2004). Using simulation models to address "What if" questions about welfare reform. *Journal of Policy analysis and Management* , 23 (4), 890-901.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

Anexo I

Tabla 4: Resultados de la calibración del modelo ($\beta=0.005$; $r=28$ semanas; $k=0.002$; $p=0.4$).

Año	Infecciosos simulados	Notificados INER	Población simulada	Población INDEC
1985	15,986.06	15992	30,306,169.40	30305336
1986	12,146.59	14681	30,685,245.95	30757601
1987	12,790.01	13369	31,069,044.48	31214665
1988	13,371.74	13267	31,457,646.24	31673154
1989	14,043.42	12634	31,851,111.65	32129676
1990	14,808.64	12355	32,249,502.15	32580854
1991	12,767.37	12181	32,652,868.58	33028546
1992	13,342.40	12596	33,061,275.30	33475005
1993	13,958.14	13914	33,474,793.03	33917440
1994	14,646.08	13683	33,893,486.11	34353066
1995	15,400.18	13450	34,317,412.10	34779096
1996	10,540.80	13397	34,746,630.85	35195575
1997	10,647.23	12621	35,181,201.82	35604362
1998	10,766.43	12276	35,621,207.78	36005387
1999	10,911.75	11871	36,066,716.84	36398577
2000	11,082.18	11767	36,517,797.99	36783859
2001	11,276.93	11464	36,974,521.07	37156195
2002	11,495.39	11545	37,436,956.78	37515632
2003	11,737.07	12278	37,905,176.71	37869730
2004	12,001.64	12079	38,379,253.34	38226051
2005	12,288.87	11242	38,859,260.04	38592150



CONGRESO INTERNACIONAL
DE
CONTADURÍA, ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

Tabla 5: Valores para determinantes sociales y parámetros utilizados en la calibración.

Período	DOTS	sigma	Período demora paciente (semanas)	Período demora acceso (semanas)	Demora diagnóstico (semanas)
1985-89	0.8	0.05	3	3	1
1990-94	0.8	0.01	2	2	1
95-2005	0.9	0.003	1	1	1