Colombia Médica

Vol. 18 Nº 3, 1987

Sección: Contribución especial

Un modelo para el control de las enfermedades infecciosas[1]

Alberto Alzate S., M.D., MSP, DTPH[2]

RESUMEN

Se presenta un modelo teórico para el control de las enfermedades infecciosas en poblaciones humanas. El modelo considera seis estrategias, a saber: mantener el tamaño del reservorio lo más pequeño posible, impedir la salida del agente infeccioso del reservorio al ambiente, interrumpir la transmisión, impedir la entrada del agente en el nuevo huésped, mejorar el grado de resistencia a la infección en el nuevo huésped y modificar el ambiente global. Para cada una de las estrategias y sus posibles combinaciones se presentan ejemplos. La principal aplicación del modelo es para la enseñanza de la epidemiología, así como en la evaluación costo-beneficio de intervenciones en salud pública.

Un modelo, según la Real Academia Española[1] es la representación en pequeño de alguna cosa. La definición de esquema de la misma Academia como "representación de una cosa atendiendo sólo a sus líneas o caracteres más significativos" complementa la primera definición. Los modelos matemáticos se utilizan en ciencia para predicciones o cálculos exactos, mientras que los modelos de comunicación o analógicos[2] toman la forma de esquemas que reúnen y resumen conceptos en forma tal que ayudan a entender fenómenos complejos.

En epidemiología existen algunos modelos de la enfermedad de Leavell y Clark[3] o el modelo de la tabla de 4 casillas para el análisis de estudios de casos y controles o de estudios de cohortes[4].

En los textos clásicos de epidemiología de enfermedades infecciosas[5-7], se encuentra a menudo una mención muy breve de los mecanismos de transmisión y luego se pasa a describir en forma detallada la enfermedad, sin discutir un marco general del significado de las medidas de control en términos epidemiológicos. En el caso del Manual para el Control de Enfermedades Transmisibles de la Organización Panamericana de la Salud[8] se encuentra para cada enfermedad una descripción muy valiosa, pero, desafortunadamente en el glosario del Manual no se menciona el esquema presentado en el texto. Armijo[9] incluye en su libro, 3 elementos de la enfermedad transmisible: el reservorio, las vías de transmisión y los susceptibles y clasifica las medidas de control de acuerdo con su aplicación a cada uno de ellos, pero, al discutir los métodos específicos abandona el modelo inicial. Anderson[10] en un texto parcialmente olvidado por su antigüedad, presenta in extenso los elementos de un modelo de control que se basa en el ataque a 3 puntos claves: prevención de la diseminación, aumento de la resistencia del nuevo hospedero y disminución de los efectos de la enfermedad cuando fallan las intervenciones anteriores. Ambos textos, particularmente el de Armijo por su disponibilidad, permiten resolver parcialmente el problema de entregar al estudiante un marco general de las medidas de control.

PRESENTACION DEL MODELO

Los elementos claves del modelo son el reservorio, el agente infeccioso, el huésped susceptible y los mecanismos de transmisión (Figura 1). Por **reservorio** se

1. Esta publicación tuvo el apoyo del Programa Especial para la Investigación y el Entrenamiento en Enfermedades Tropicales (OMS/BM/ PNUD).

2. Profesor Asociado, Departamento de Microbiología, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Cali, Colombia

entiende aquellos seres humanos, animales superiores, artrópodos, plantas, suelo o materia inanimada donde vive y se multiplica normalmente el elemento infeccioso y de los cuales depende para su sobrevivencia y reproducción[8]. La existencia del reservorio es el punto de partida para la **transmisión** del agente infeccioso a un huésped susceptible. Todo organismo vivo (virus, rickettsia, bacteria, protozoario, hongo o helminto) capaz de producir infección o enfermedad en el huésped es considerado como **agente** infeccioso[8].

El **huésped** se caracteriza por la capacidad para proveer la subsistencia del agente en condiciones naturales dentro de él. El agente puede producir dos estados diferentes: la infección en el huésped independientemente de su capacidad para producir la enfermedad en él una vez producida la infección, la asociación entre los dos organismos vivos puede evolucionar en términos benéficos para ambos organismos (mutualismo), o producir beneficio sólo para uno de los organismos sin perjudicar al otro (comensalismo). Se establece por último una típica relación parasitaria cuando claramente uno de los organismos, en este caso el agente infeccioso, deriva beneficios para sí a expensas del daño producido al huésped. En esta última circunstancia se produce la enfermedad[11].

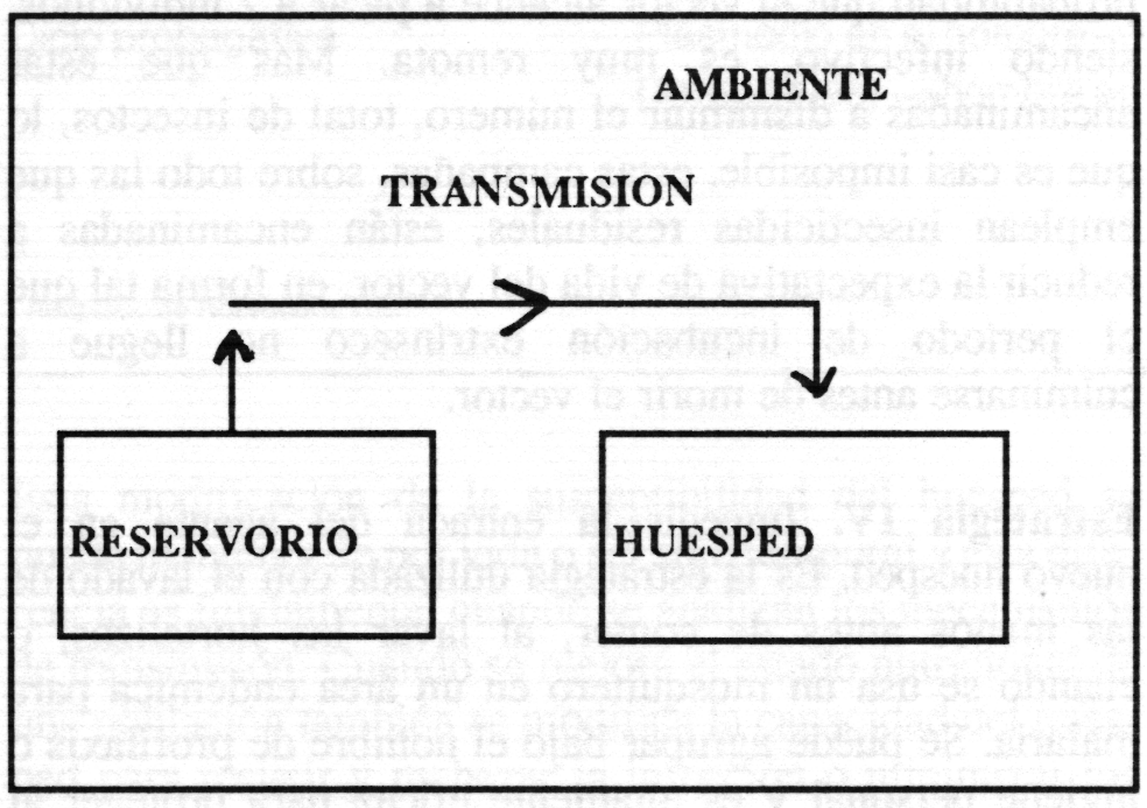


Figura 1. Modelo de control.

El concepto de reservorio toma importancia cuando se piensa en el origen oscuro de muchos brotes de enfermedad de carácter y magnitud súbitos, muy por encima de la esperada, a los cuales se denomina epidemias. Estas se presentan a veces rodeadas de aspectos trágicos a menudo en forma dramática, siendo siempre interesante su estudio para el epidemiólogo[12]. Sin embargo, el estado endémico, presente entre las epidemias, constituye la fuente de donde ellas emergen y sin el cual serían imposibles. El mantenimiento del nivel endémico depende invariablemente de un proceso continuo de transmisión entre la población de huéspedes encargados de mantener a determinado agente en la naturaleza. En situaciones endémicas el huésped y el agente se encuentran en condiciones tales de equilibrio que ni la población de agentes se extingue, ni la población de huéspedes perece o se hace totalmente resistente a la penetración del agente. Se mantiene un equilibrio dinámico a base de continuas transmisiones del agente de un huésped hacia otro, en lo que se denominan condiciones de estabilidad[13]. Desde el punto de vista de prevención resulta mucho más efectivo el estudio del reservorio endémico y de los factores que hacen posible su mantenimiento[12].

Cuando se conoce el ambiente, o sea, las condiciones físicas y sociales bajo las cuales se realiza la transmisión, las características del huésped y del reservorio y las características del agente, se puede describir en forma global el mecanismo o ciclo de transmisión particular de cada enfermedad. Una vez que se ha descrito el ciclo biológico se inicia una segunda etapa del análisis, encaminada a tratar de explicar en términos numéricos la cantidad de infección y/o de enfermedad existente en determinada población (prevalencia), y la cantidad de nuevos casos de infección y/o enfermedad en un período determinado (incidencia). El análisis de la cantidad de casos existentes y el patrón de aparición de nuevos casos, lleva de inmediato a preguntar sobre la cantidad de transmisiones que han tenido que darse para explicar el nivel endémico encontrado. Este proceso de análisis de la transmisión en términos numéricos está claramente encaminado, desde el punto de vista preventivo, a buscar en la cadena de transmisión del reservorio al nuevo huésped, los eslabones o pasos donde se puede intervenir para interrumpir la transmisión.

APLICACION DEL MODELO A LA PREVENCION DE ENFERMEDAD

En forma muy simple (Figura 2) se pueden demostrar 6 puntos claves para la intervención encaminada a reducir parcial (control) o totalmente (erradicación) el número de casos de una determinada infección o enfermedad.

Estrategia I. Disminución del tamaño del reservorio. Es la estrategia clásica de la quimioterapia masiva empleada en el control de la tuberculosis, cuando el ataque se concentra en la disminución de individuos bacilíferos (reservorios). Se ha empleado también en campañas de desparasitación masiva en el caso de las hel-

mintiasis[14]. La estrategia se basa en reducir la población infectada e infectante a un número muy bajo o cercano a cero y evitar así que se produzca un número suficiente de transmisiones y por ende de casos nuevos.

Estrategia II. Impedir la salida del agente al medio exterior. Es la estrategia empleada en saneamiento ambiental cuando al construir una letrina o un sistema de alcantarillado se trata de poner fuera de la circulación en el medio a todos aquellos agente infecciosos transmitidos por vía fecal. El éxito puede ser total o parcial, pues en uno u otro punto estos elementos infecciosos entran de nuevo en el ambiente. Se procura entonces que lo hagan en forma inactiva (tratamiento de aguas residuales) o lo más lejos posible del contacto humano. Esta medida es inmediata, siempre y cuando la extensión de la estrategia se haga a poblaciones enteras, no a unos pocos individuos[15].

Estrategia III. Interrumpir la transmisión. Hay 2 grandes mecanismos de transmisión de agentes infecciosos[8]:

1. Transmisión directa. Desde el reservorio y a través del contacto persona a persona, bien sea de tipo sexual o íntimo o por gotas de saliva producida al toser, estornudar, hablar o cantar, el agente encuentra una puerta de entrada en el nuevo huésped. Puede tratarse también de exposición directa de la piel y otros tejidos susceptibles a un agente que se encuentra en el suelo (**Clostridium**, hongo o larva de helminto por ejemplo), o la mordedura de un animal. Las estrategias I y II tienen efecto claro sobre este tipo de transmisión.

2. Transmisión indirecta: a) Acarreamiento por un vehículo generalmente un objeto inanimado, juguetes, pañuelos, utensilios de cocina, instrumentos quirúrgicos, etc. En otros casos a través del agua, leche, alimentos, productos biológicos que incluyen suero y plasma. El agente puede o no desarrollarse y multiplicarse en el vehículo. Esta estrategia corresponde a todas las medidas de carácter sanitario (potabilización del agua, pasteurización de la leche, control sanitario de productos biológicos) encaminadas a un control global del medio, estrechamente ligadas a la sexta estrategia. b) Acarreamiento por vectores (Cuadro 1). Por un vector biológico, donde se realiza la multiplicación (preparación), o la maduración sexual (desarrollo cíclico), o ambos (desarrollo ciclo-propagativo) del agente. Se necesita que el agente permanezca algún tiempo en el artrópodo vector (período de incubación extrínseco) para hacerse infectivo y luego ser transmitido por picadura o defecación del insecto en el sitio de picadura.

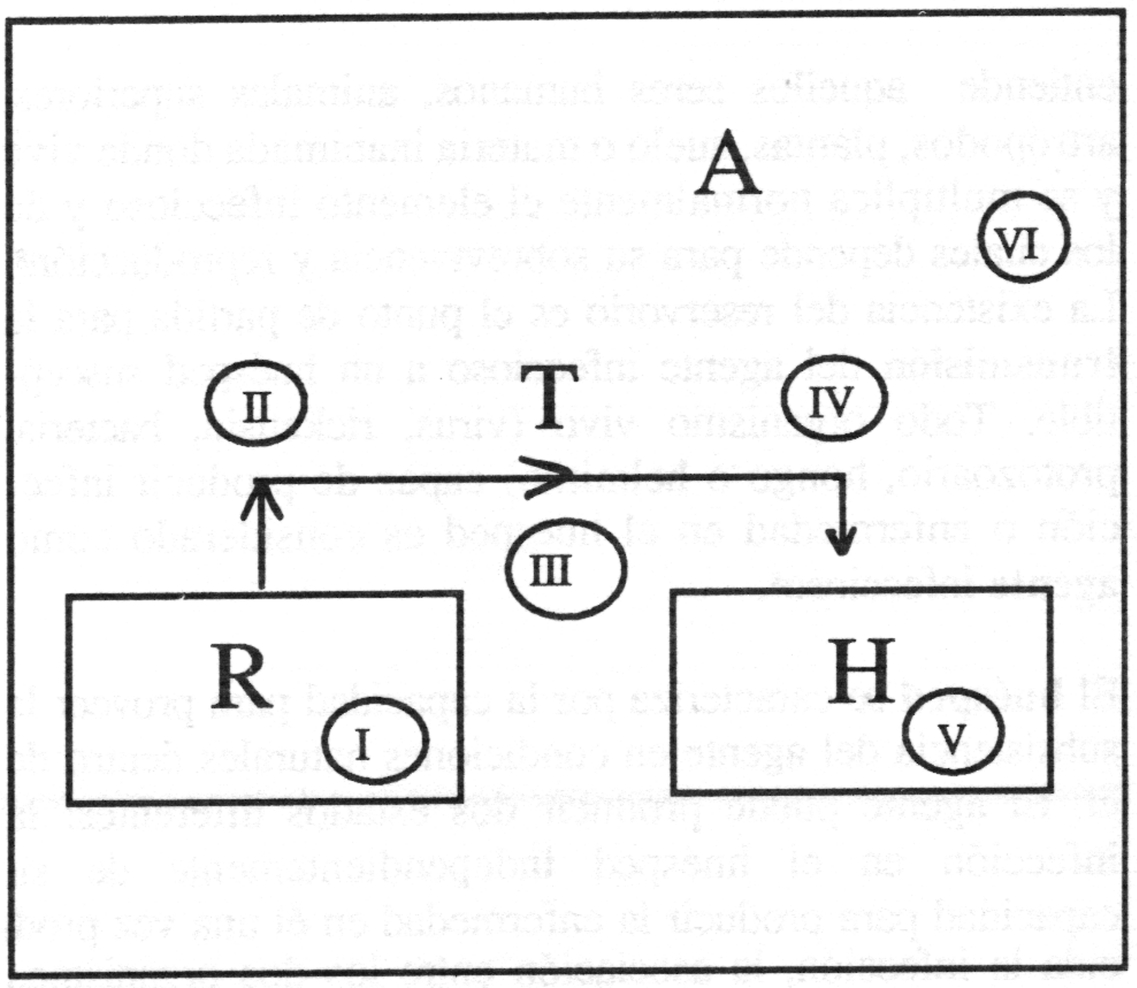


Figura 2. Puntos claves para la interrupción de la transmisión.

Cuando la tercera estrategia propone la interrupción de la transmisión se piensa en las campañas antivector (malaria, fiebre amarilla, dengue) y el éxito parcial o total alcanzado con ellas a través de la reducción de las poblaciones de insectos vectores a límites donde la probabilidad que el vector alcance a picar a 2 individuos, siendo infectivo, es muy remota. Más que estar encaminadas a disminuir el número, total de insectos, lo que es casi imposible, estas campañas, sobre todo las que emplean insecticidas residuales, están encaminadas a reducir la expectativa de vida del vector, en forma tal que el período de incubación extrínseco no llegue a culminarse antes de morir el vector.

Estrategia IV. Impedir la entrada del agente en el nuevo huésped. Es la estrategia utilizada con el lavado de las manos antes de comer, al lavar las hortalizas, o cuando se usa un mosquitero en un área endémica para malaria. Se puede agrupar bajo el nombre de profilaxis o higiene personal y es altamente eficaz para proteger al individuo expuesto. Su impacto en la transmisión es bajo cuando el nivel endémico se mantiene en un grupo grande de personas que no comparten estos mismos hábitos en la población.

Estrategia V. Modificación de la susceptibilidad y resistencia del huésped. Es lo que busca toda campaña de inmunización. Aunque la transmisión se realice y el agente penetre en el nuevo huésped, el agente es incapaz de multiplicarse en el nuevo huésped y pronto es rechazado por los mecanismos inmunológicos de defensa.

Cuadro 1
Patrones Básicos de Transmisión por Artrópodo*

Transmisión	Ciclo directo (hombre-vector-hombre)	Ciclo indirecto (animal-vector-hombre)
Mecánica	Bacterias entéricas → **Musca domestica** → alimentos en enfermedades diarreicas.	**Francisella tularensis** → garrapatas (**Dermacentor**) → hombre, en tularemia.
Biológica propagativa	Virus del dengue en el hombre → **Aedes aegypti** → hombre. Fiebre amarilla (flavivirus) en hombres → **Aedes aegypti** → hombre.	**Yersinia pestis** en roedores salvajes → **Xenopsylla cheopis** (pulga) → hombre, en peste. Fiebre amarilla (flavivirus) en monos → mosquito selvático (**Haemagogus**) → hombre.
Ciclo evolutiva	**Wuchereria bancrofti** en el hombre → mosquito (**Culex, Aedes**) → hombre, en filariasis de Brancroft.	**Brugia malayi** en monos → mosquito (**Mansonia,Anopheles**) → hombre, en filariasis malaya.
Ciclo propagativa	Plasmodio en el hombre → mosquito (**Anopheles**) → hombre en malaria	**Trypanosoma cruzi** en mamíferos silvestres o domésticos → triatomas (Reduviidae) → hombre, en enfermedad de Chagas.

* Adaptado de Rozeboom, L.E.[16]

Esta modificación de la susceptibilidad del huésped se puede mantener de por vida o ser sólo temporal y esta diferencia es fundamental cuando se analizan los mecanismos de transmisión. Cuando se mejora el estado nutricional de una población también se modifica la capacidad del huésped para resistir y rechazar la infección o minimizar los riesgos de enfermar.

Estrategia VI. Implantación de cambios globales en el ambiente. Produce grandes cambios en el nivel endémico. Se podría decir que el asfalto de las ciudades minimiza las condiciones de transmisión de todos los agentes que realizan parte de su ciclo en tierra. Los cambios producidos en el ecosistema agroindustrial también conducen a la desaparición de muchas especies de vectores. En sentido contrario también abundan ejemplos: las catástrofes naturales y las guerras ocasionan grandes aumentos en la transmisión de muchas endemias. La construcción de represas trae consigo la creación de inmensos reservorios acuáticos para la propagación de vectores.

CONCLUSIONES

Históricamente está demostrado que una sola estrategia llevada hasta sus últimos límites puede conducir por sí sola a la erradicación de una endemia; tal es el caso de la viruela, erradicada mediante vacunación (V) de todo el planeta[17], o la malaria, erradicada de grandes áreas mediante campañas antivector (III) adecuadamente dirigidas[18].

La combinación de 2 ó más de las estrategias propuestas refuerza indudablemente el ataque que se hace a la cadena de transmisión. En malaria se acude además de las campañas antivector (III), al tratamiento masivo con quimiotera-

pia (I), a la protección individual (IV), simultáneamente con obras de infraestructura encaminadas a destruir focos de vectores (VI), y mientras se busca afanosamente una vacuna (V). En la lucha contra el parasitismo intestinal no sólo se deja al saneamiento (II) el combatir la endemia, sino que se acude a la quimioterapia masiva (I), incorporada a campañas para mejorar el ambiente (VI) y el estado nutricional de la comunidad (V).

La experiencia con el modelo en cursos de pregrado para estudiantes de medicina ha mostrado que les facilita la comprensión de fenómenos complejos y les sirve de marco conceptual al estudiar en detalle las enfermedades. Los estudiantes de postgrado en Salud Pública y Epidemiología rápidamente lo adoptan y les sirve de punto de partida para establecer la discusión sobre el costo y la efectividad de diferentes medidas de control en situaciones reales.

SUMMARY

A theoretical model for control of infectious diseases is presented. Keeping the size of the reservoir towards the minimum, avoiding the entrance of the infectious agent into the environment, interrupting transmission, avoiding the entrance of the agent into the new host, improving the resistance of the new host, and modifying the whole environment are the six strategies considered. For each one of the activites proper examples are developed, and the combination of the strategies is also exemplified.

The application of the model to the epidemiological training of medical and postgraduate students in public health and epidemiology is the main objetive, but the model is also important for the cost-benefit appraisal of public health interventions.

REFERENCIAS

1. Real Academia Española. **Diccionario de la lengua española.** Décimonovena ed., Madrid, 1970.
2. Chuchman, C.W., Ackoff, R.L. & Arnoff, E.L.: **Introdución a la investigación operativa.** Editorial Aguilar, Madrid, pp 71, 1971.
3. Leavel, H.R. & Clark, E.G.: **Preventive medicine for the doctor in his community. An epidemiologic approach.** Pp. 13-39, 2nd ed, McGrawHill Book, New York, 1958.
4. Mac Mahon, B. & Pugh, T.F.: **Epidemiology. Principles and methods.** Pp. 39-43. Little, Brown and Co, Boston, 1970.
5. Clark, D.W., & Mac Mahon, B. (eds): **Preventive medicine.** Little, Brown and Co, Boston, 1967.
6. Sartwell, P.E. (ed): **Maxcy-Rosenau preventive medicine and public health.** 10th ed, Appleton Century Crofts, New York, 1973.
7. Mandell, G.L., Douglas, R.G. & Bennett, J.E.: **Principles and practice of infectious diseases.** John Willey & Sons. New York, 1979.
8. Benenson, A.S.: **El control de las enfermedades transmisibles en el hombre.** 13a. ed, Publicación Científica No. 442, OPS, Washington D.C., 1983.
9. Armijo, R.: **Epidemiología. Epidemiología básica.** Tomo I, pp 109-115, Editorial Intermédica, Buenos Aires, 1978.
10. Anderson, G.W., Arnstein, M.G. & Lester, M. R.: **Communicable disease control.** Pp. 14-90, 4th ed, MacMillan Co, New York, 1962.
11. Mims, C.A.: **The pathogenesis of infectious diseases.** Pp. 1-6, Academic Press, Londres, 1977.
12. MacDonald, G.: On the scientific basis of tropical hygiene. **Trans R Soc Trop Med Hyg,** 1965, **59:** 611-620.
13. Bradley, D.J.: Regulation of parasite populations: a general theory control of parasite infections. **Trans R Soc Trop Med Hyg,** 1972: **66:** 697-708.
14. Warren, K.: The present impossibility of eradicating the omnipresent worm. **Rev Infect Dis,** 1982, **4:** 955-959.
15. Cvejetanovic, B., Grab, B. & Uemura, K.: **Dynamics of acute bacterial diseases.** World Health Organization, Geneva, 1978.
16. Rozeboom, L.E.: Arthropod populations as vectors and reservoirs of disease. Pp. 390-391, en B.K. Sladen & F.B. Bang (eds) **Biology of populations.** American Elsevier, New York, 1969.
17. Fenner, F.: A successful eradication campaign: global eradication of smallpox. **Rev Infect Dis,** 1982, **4:** 916-922.
18. Yekutiel, P.: **Eradication of infectious diseases. A critical study.** S. Karger, Basel, 1980.