

Enfoque matemático para causalidad prevención-inmigración de brotes de enfermedades de transmisión sexual en Chile utilizando VIH como modelo

Fernando D. Córdova^{a,*} Maritza G Cabrera^b, Juan P. Gutiérrez^a, Rodrigo I. Gutiérrez^a

^a Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Católica del Maule, Región del Maule, Chile

² Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Universidad Católica del Maule, Región del Maule, Chile

*Autor corresponsal fcordovalepe@gmail.com

Citación Córdova FD, Cabrera M, Gutiérrez JP, Gutiérrez RI. Mathematical approach to the prevention-immigration causality of outbreaks of sexually transmitted diseases in Chile using HIV as a model. *Medwave* 2019;19(10):e7712

Doi 10.5867/medwave.2019.10.7712

Fecha de envío 26/7/2019

Fecha de aceptación 7/10/2019

Fecha de publicación 8/11/2019

Origen no solicitado

Tipo de revisión con revisión externa por cuatro pares revisores, a doble ciego

Palabras clave prevention & control, emigrants and immigrants, epidemiology, mathematics.

Material suplementario

<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.10272623>

Resumen

En Chile, en el debate público contingente respecto a los alarmantes indicadores de prevalencia de enfermedades infectocontagiosas (como las de transmisión sexual), destacan dos factores como determinantes: la ineficacia o escasas campañas preventivas y el componente inmigratorio de bajo nivel de autocuidado. En orden a desarrollar una perspectiva analítica, se propone un modelo matemático simplificado para expresar en términos cuantitativos la influencia de estos factores. Así también, se busca evidenciar cómo estos actúan en forma conjunta en la instalación epidémica de la enfermedad. Una comprensión, que aun atendiendo a su simplicidad, es un insumo para derivar recomendaciones teóricas de control.

Abstract

In Chile, in the contingent public debate about the alarming indicators of the prevalence of infectious diseases (such sexually transmitted ones), two factors stand out as determinants: inefficient or scarce preventive campaigns and the poor level of self-care among immigrants. To develop an analytical perspective, a simplified mathematical model is proposed that quantitatively expresses the impact of these factors. Furthermore, we intend to show how these factors working together act within the epidemic of the disease. Despite the simplicity of the proposed argument, a better understanding may address theoretical recommendations for the control and prevention of the disease.

Ideas claves

- Ante el aumento del VIH en Chile, el país debate distintas causales. Mediante un modelo matemático se integran la prevención y la migración como determinantes para mostrar su importancia relativa
- La novedad de este estudio es la posibilidad de un relato dirigido a un público lo más amplio posible, sin llegar a perder precisión en las afirmaciones científicamente expuestas.
- La limitante principal del trabajo es un enfoque generalista, determinado por la necesidad de simplicidad matemática.

Introducción

Las migraciones humanas han sido históricamente un componente importante de la evolución e interconexión de las sociedades a nivel global¹. Al respecto, los expertos afirman que tales dinámicas, en lo contemporáneo, han intensificado su marca en los patrones sociales, incidiendo directamente sobre aspectos básicos del quehacer de las comunidades. Algunos de los sectores más afectados son el económico, cultural y de salud². Hay múltiples causas que propician el fenómeno migratorio, destacando entre ellas las fuerzas económicas, fuerzas tecnológicas, capitales inestables, cambio climático, conflictos armados e inestabilidad política en los países de origen de los migrantes¹. Más allá de las causalidades, en este trabajo nos convocan las consecuencias sobre la salud de las poblaciones albergantes.

Dentro del continente americano, los desplazamientos históricamente han tenido patrones de movilidad desde el sur hacia las economías más industrializadas y avanzadas tecnológicamente del norte. Sin embargo, las barreras físicas (vinculadas a la lejanía), culturales y los filtros administrativos crecientes, son un freno importante en la decisión de los nuevos migrantes. En relación con nuevas opciones, han emergido los desplazamientos intrarregionales dentro de Latinoamérica. Actualmente, por ser sociedades con algún grado de estabilidad económica, y más cercanas geográficamente, social, histórica y culturalmente, los países del Cono Sur son preferidos como destino².

En Chile, el panorama en materia migratoria no ha estado ajeno al de la dinámica mundial. Según Wolff (2017)³, en solo 15 años ha existido un aumento progresivo en el porcentaje de población nacida en el país. En el Censo de 2002 se registró que 1,27% de la población residente era de migrante. Sin embargo, para el Censo del año 2017 se censaron 746 465 migrantes, lo que representa un fuerte incremento, llegando al 4,35% del total de la población residente en Chile⁴. Según las estadísticas presentadas por este organismo nacional (Instituto Nacional de Estadísticas) el 66,7% de los migrantes residentes llegaron al país durante el periodo 2010-2017, siendo las poblaciones más numerosas las de Perú, Colombia y Venezuela.

En materia de salud, muchos son los estudios que confirman una estrecha relación con el fenómeno global migratorio^{1,5}. Sin embargo, poco se ha avanzado en la elaboración de políticas internacionales en esta materia; dado que entre otras razones, los actuales cuerpos de decisión se observa una marcada ausencia de profesionales en salud pública¹. Según un estudio retrospectivo sobre viajes y migración en el contexto europeo⁶, las enfermedades infecciosas relacionadas con migración y morbilidad más comúnmente reportadas son gastro-intestinal, sistémicas febriles (malaria, dengue, entre otras), dermatológicas (leishmaniasis y lepra), respiratorias (tuberculosis e influenza), Chagas y de transmisión sexual (HIV y sífilis). Estas últimas enfermedades son las que el individuo tiene más claramente la opción de transmitirla o no, ya sea por su condición de infeccioso o susceptible, mediante el uso de preservativos como barrera para evitar el contagio.

En los últimos años, se ha evidenciado en Chile un despliegue de opiniones públicas en torno al aumento progresivo de las tasas de

contagio de VIH/SIDA. Así lo confirman fuentes oficiales del Departamento de Epidemiología del Ministerio de Salud del Gobierno de Chile⁷, que reportan 21 856 nuevos diagnósticos para el periodo 2010-2015.

Aunque la migración es un determinante sociológico predeterminado por la salud de una población, la migración por sí misma no implica necesariamente un riesgo para la salud. Así lo indica Carlos Van der Laat (Oficial Regional de Salud y Migración para las Américas, Organización Internacional para las Migraciones)⁸. Sin embargo, un elemento que focaliza nuestra atención, en el proceso de modelaje propuesto, es el tamaño del grupo inmigratorio que no sigue las recomendaciones profilácticas.

En este sentido, es importante señalar que el impacto epidemiológico producto de la migración no ha sido sistemáticamente identificado en Chile, tal como lo asegura Wolff³. No obstante, existen algunas enfermedades como el cólera, tuberculosis, patologías infecciosas tropicales y las transmisibles por vectores, sobre las que el mencionado trabajo plantea observaciones relevantes vinculadas con la inmigración. Otro grupo de enfermedades nombradas en dicho estudio son las de transmisión sexual (VIH, sífilis, gonorrea, entre otras), que centrará nuestra atención por cuanto su principal medio preventivo está ligado a la conducta humana. La infección por VIH en Chile, según los cálculos realizados por el Software Spectrum (proporcionado por ONUSIDA)⁷, se incrementará en 5000 casos por año.

Las actuales cifras han puesto en alarma al sistema y a la población. Es esperable, por cierto, que la situación despierte la especulación social respecto a los factores causales que expliquen los aumentos de casos o brotes registrados. El debate, ligeramente técnico, en algunos casos se contamina con argumentos y oportunismo político; algunos muy contingentes otros más ideológicos en su concepción de largo plazo. Expreso, existe un debate medial en Chile respecto de las causales tras la reaparición o el avance en los casos de VIH/SIDA. Estas van desde aquellos que centran la causal, como consecuencia natural del alto flujo migratorio y, por otro lado, quienes la centran como los efectos obvios de los escasos esfuerzos en prevención social por parte del Estado.

“El problema del VIH en Chile no es un problema de los migrantes, es un problema del país”, señaló el doctor Carlos Beltrán, luego de acompañar al Ministro de Salud Emilio Santelices en la tarea de dar a conocer los lineamientos del nuevo Plan Nacional de VIH. Su opinión fue compartida por el infectólogo y director del Centro de VIH del Hospital Clínico de la Universidad de Chile, Alejandro Afani⁹.

Hay sectores de opinión en los medios y de especialistas que levantan como causal principal la falta de efectividad de las medidas gubernamentales en orden a interiorizar a la población en medidas de prevención, en particular y principalmente en el uso de preservativos. Notemos que, desde la década de 1990 a la fecha, desde el Estado se han implementado una veintena de campañas, algunas con muy poca resonancia comunicacional, lo que parece ratificarse a la luz de las alarmantes cifras. Muestra de lo observado son titulares del tipo “Debilidades en la estrategia contra el SIDA”¹⁰ y “Los errores no forzados de la política de VIH”¹¹.

En este sentido, el presente estudio intenta cuantificar y comparar los efectos de las medidas precautorias y la migración. Más precisamente, busca establecer la prevalencia a largo plazo como función del flujo migratorio susceptible y la frecuencia y eficacia de campañas de prevención. Nos restringiremos a una enfermedad de transmisión sexual, en lo ideal donde el individuo sea capaz de tener la posibilidad de tener una precaución 100% efectiva de no transmitirla, como, por ejemplo, el VIH/SIDA tras usar correctamente el preservativo. El enfoque planteado es a través de un modelo matemático (no estadístico, es decir, de orden a priori) que evalúe las hipótesis explicativas en términos funcionales¹²⁻¹⁶. Todo esto, basado en la generación de un sistema dinámico fundamentado en el uso de técnicas básicas de la teoría de ecuaciones diferenciales impulsivas^{17,18}.

La novedad del presente estudio está en la posibilidad de un relato dirigido a un público lo más amplio posible, sin llegar a perder precisión en las afirmaciones científicamente expuestas. Aunque la limitante principal es la necesidad de partir de un modelo altamente simplificado, que indudablemente deja fuera una serie de variables y la multifactorialidad de la realidad; se rescatan unas primeras luces para el debate.

Supuestos del modelo

Nos situaremos en el caso idealizado de una enfermedad infectocontagiosa que requiere para su propagación el necesario contacto físico entre un individuo infeccioso y otro susceptible. Asumiremos también que, en la escala de observación, el tiempo transcurrido desde el comienzo del estado infeccioso hasta la condición de transmisor no es significativo. Además, consideramos que ante todo encuentro con posibilidad de contagio, los individuos se clasifican en toda circunstancia en dos tipos: aquellos que interponen una barrera totalmente efectiva para bloquear el paso del agente patógeno y los que no. Estos últimos, los denominaremos de aquí en adelante grupo descuidado y su tamaño en un instante t lo denotamos por $D(t)$.

Observemos que, si el número de encuentros con posibilidad de contagio se distribuye uniformemente en la población, entonces la propagación de la enfermedad queda limitada a los contactos contagiosos entre individuos infecciosos y susceptibles del grupo descuidado.

Tabla 1: Simbología asociada a variables y parámetros.

Simbología	Definición
D	Grupo descuidado.
S	Individuos susceptibles.
I	Individuos infecciosos.
β	Tasa de contagio.
$1/T$	Frecuencia de las campañas de prevención.
α	Fracción de descuidados a protegidos por campaña.
M	Tasa de inmigración diaria.
λ	Fracción de inmigración desprotegida.
p	Fracción de inmigración susceptible desprotegida.
q	Fracción de inmigración infecciosa desprotegida ($q = 1 - p$).

Los tamaños de estas subpoblaciones al t -ésimo día, los denotaremos respectivamente por $S(t)$ e $I(t)$. Así, si β es la tasa de contagio, entonces la incidencia diaria en el t -ésimo día es el producto $\beta S(t)I(t)$, en que $D(\cdot) = S(\cdot) + I(\cdot)$, a lo cual se le han de sumar los individuos que se integran a la población desde el exterior, por inmigración, a este grupo.

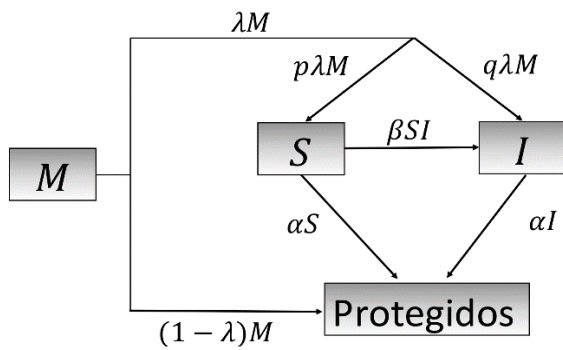
Nuestro enfoque se orienta a esclarecer, dentro de este marco de alta simplificación, dos mecanismos genéricos de control para disminuir la propagación de la enfermedad. Por una parte, los esfuerzos para que los individuos cambien su conducta poniendo la barrera al patógeno, y por otra, las limitantes para la incorporación desde el exterior de individuos al grupo descuidado. Así, dos consideraciones importantes son:

- Prevenición:** como ha sido dicho, estamos bajo el supuesto de dos tipos conductuales en la población: los que implementan una única medida de protección específica, que asumimos completamente eficaz; y los que no lo hacen, a menos que se le incentive a ello. Podría ser el caso del uso de profilácticos ante enfermedades de transmisión sexual. Esto es, están los protegidos y los que no, una vez que una persona deja su condición desprotegida mantiene su condición protegida por siempre (al menos en el periodo de interés del estudio). Un individuo susceptible o infeccioso al protegerse no vuelve a participar en la dinámica de propagación de la enfermedad. Asumiremos que esta sociedad idealizada convierte cada T unidades de tiempo (por esfuerzos dirigidos) una fracción α de la población de descuidados a protegidos. Así, en una sucesión de instantes $T, 2T, 3T, \dots, \alpha(S + I)$, dejan el grupo descuidado.
- Migración:** consideraremos que existe un importante flujo migratorio muy superior a la emigración. Como nuestro horizonte de simulación es de corto plazo, el modelo asume, salvo por el proceso migratorio, una población en equilibrio pues no hay dinámica vital y como tampoco flujos de emigración. Denotaremos la inmigración contante diaria en M individuos, de entre ellos una fracción λ tienen conducta desprotegida. Además, una fracción p de ellos son susceptibles desprotegidos y complementaria $q = 1 - p$ son infecciosos desprotegidos. Entonces, por inmigración al t -ésimo día se incorporan diariamente $p\lambda M$ individuos al grupo susceptible y $q\lambda M$ al grupo infeccioso (ver Tabla 1).

En este marco, la dinámica de flujos se presenta en la Figura 1. Además, el modelo básico de variación de los grupos susceptible e infeccioso, despreciando nacimientos y muertes, toma la forma:

$$\begin{cases} S'(t) = -\beta S(t)I(t) + p\lambda M \\ I'(t) = +\beta S(t)I(t) + q\lambda M \\ S(t^+) = (1 - \alpha)S(t) \\ I(t^+) = (1 - \alpha)I(t) \end{cases} \begin{matrix} \} t \\ \notin \{T, 2T, 3T, \dots\}, \\ \} t \\ \in \{T, 2T, 3T, \dots\}. \end{matrix} \quad (1)$$

Figura 1: Diagrama de flujo.



El flujo inmigratorio M se distribuye en la horizontal superior hacia el grupo descuidado (formado por los grupos susceptibles e infecciosos) y en la horizontal inferior hacia la comunidad interna que se protege. Se esquematiza la dinámica de la infección en la conexión $S \rightarrow I$ y el esfuerzo preventivo se refleja en los flujos hacia el grupo protegido definido por el parámetro α .

Al considerar la suma $D = S + I$, las ecuaciones del sistema (1), se obtiene la ecuación de evolución del grupo descuidado que sigue:

$$\begin{cases} D'(t) = \lambda M, & t \notin \{T, 2T, 3T, \dots\}, \\ D(t^+) = (1 - \alpha)D(t), & t \in \{T, 2T, 3T, \dots\}. \end{cases} \quad (2)$$

Notemos que entre dos campañas de prevención el número de migrantes descuidados que ingresan al sistema es λMT .

Análisis

Advirtamos que desde la ecuación (2) se tiene que el total de descuidados en dos instantes consecutivos, kT y $(k + 1)T$, de tratamiento preventivo se relaciona por:

$$D_{k+1} = (1 - \alpha)D_k + \lambda MT, \quad (3)$$

donde $D_k = D(kT)$, $k \in \{1, 2, 3, \dots\}$.

Observación: considerando (3), con una migración estimada (por unidad de tiempo) en M_k para el periodo $[kT, (k + 1)T]$, tenemos

que D_{k+1} será respectivamente (a) menor, (b) igual o (c) mayor que D_k , según:

$$(a) D_k \alpha > \lambda M_k T, \quad (b) D_k \alpha = \lambda M_k T \quad (c) D_k \alpha < \lambda M_k T.$$

Es decir, según el número de individuos que la prevención es capaz de movilizar al grupo cuidadoso por unidad de tiempo, αD_k , es mayor, igual o menor al número de personas descuidadas que se incorporan al sistema entre los tratamientos, $\lambda M_k T$.

Asumiremos que hay solo control sobre los parámetros α , λ y T . El mejorar la condición futura, esto es mantener o conseguir (a) para disminuir el grupo descuidado, pasa por una (o una mezcla) de las siguientes estrategias:

Aumentar α : lograr la desigualdad (a) en un entorno dinámico no es tarea fácil, en cuanto el grupo D incluso de ir a la baja, probablemente ofrece cada vez más resistencia a cambiar su condición. En el marco incluso de corto plazo que estamos suponiendo, los costos asociados a hacer subir α pueden dispararse.

Disminuir λ : las personas que han decidido migrar han tenido renuncias importantes y el que estas se sometan por ejemplo a una labor educativa (tratamiento) antes del ingreso, haría fortalecer e incrementar el flujo descuidado. Precisemos que siempre está la posibilidad de bajar M poniendo barreras generales al ingreso, y también disminuir λ aumentando la selectividad. Sin embargo, pensamos que en lo humano y en lo ético estas opciones no son del todo sostenibles.

Disminuir T : dicho de otra manera, esto significa simplemente aumentar la frecuencia ($1/T$) de las intervenciones o campañas preventivas.

De tener una tasa migratoria constante y no mediar intervención sobre los parámetros de (3), por resolución explícita se obtiene $D(\cdot)$ en los tiempos en $nT \in \{0, T, 2T, 3T, \dots\}$:

$$\begin{aligned} D_n &= (1 - \alpha)^n D_0 \quad (4) \\ &+ \frac{1}{\alpha} \lambda MT [1 \\ &- (1 - \alpha)^n]. \end{aligned}$$

Esta expresión se estabiliza (n suficientemente grande) a un tamaño final del grupo descuidado que es independiente del tamaño inicial, igual a:

$$D_\infty = \frac{1}{\alpha} \lambda MT, \quad (5)$$

expresión que se reduce al aumentar α , disminuir λ o T .

Curva de prevalencia

Observemos que usando $S(t) = D(t) - I(t)$ en la segunda ecuación de (1) tenemos que la función de prevalencia satisface en $t \in]kT, (k + 1)T]$, la ecuación:

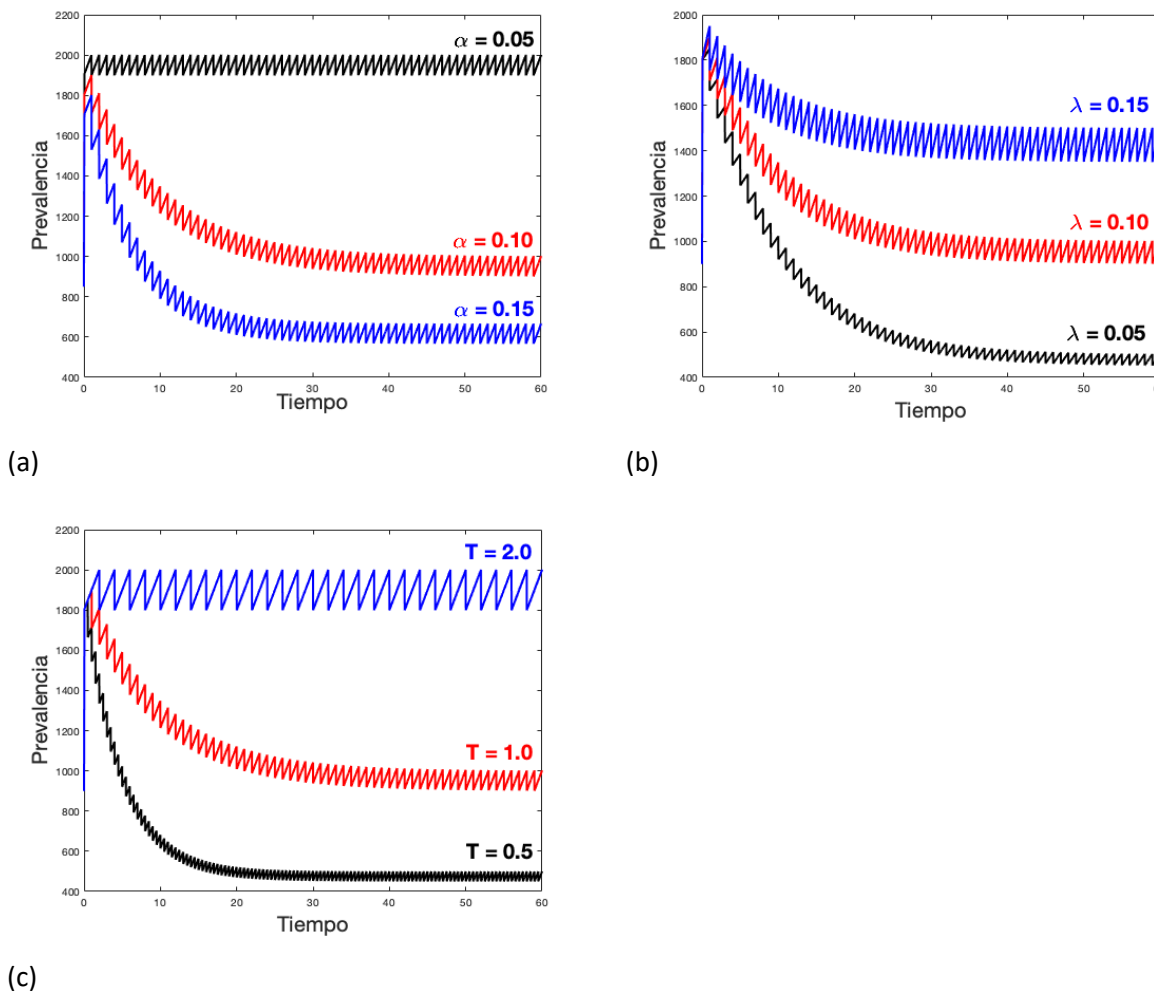
$$I'(t) = \beta\{D(t) - I(t)\}I(t) + q\lambda M \quad (6)$$

con condición inicial $I(kT^+) = (1 - \alpha)I(kT)$, en que $D(t)$ solución de (2).

En el Apéndice se entrega información analítica, de argumentación matemática, respecto a la existencia y cotas para valor final del grupo de infecciosos descuidados $I_\infty = \lim_{k \rightarrow \infty} I(kT)$.

En la Figura 2(a), se observa el efecto de disminución sobre la prevalencia en el tiempo al aumentar el porcentaje (5%, 10% y 15%) de efectividad α de una campaña de prevención. Así, advertimos que este efecto inverso en los márgenes de variación final (largo plazo) de esta prevalencia, está en proporción 3:2:1. En las figuras 2(b) y 2(c) es posible notar el efecto directo sobre la prevalencia, en cada instante, al aumentar sólo la fracción migrante cuidada λ (5%, 10%, 15%) o sólo la frecuencia de los eventos de prevención $1/T$ (0,5; 1; 2) por unidad de tiempo.

Figura 2. Sensibilidad de la prevalencia de la enfermedad respecto a los parámetros α , λ y T .



Curva de prevalencia considerando $\beta = 0,7$, $M = 1000$, $q = 0,9$ y condiciones iniciales $S(0) = I(0) = 1000$. (a) $\alpha \in \{0,05; 0,10; 0,15\}$, $\lambda = 0,10$ y $T = 1,0$, (b) $\alpha = 0,10$, $\lambda \in \{0,05; 0,10; 0,15\}$ y $T = 1,0$, (c) $\alpha = 0,10$, $\lambda = 0,10$ y $T \in \{0,05; 0,10; 0,15\}$. Fuente: software MATLAB.

Discusión

El presente estudio nos ubica directamente con la problemática de VIH en Chile, hasta ahora desprovista de una propuesta coherente por parte del Estado, comprensiva y eficaz de intervención social, que incluya la participación activa de la población vulnerable. De

acuerdo con el modelo propuesto, este sugiere concentrar los esfuerzos en diseñar o fortalecer políticas destinadas a controlar (por la vía de los parámetros determinantes en el modelo) la propagación. Esto es, que en la práctica permitan:

1. Reducir la fracción λ de migrantes que tienen conducta sexualmente desprotegida.

2. Aumentar la fracción α de la población de descuidados que pasan a protegerse.
3. Aumentar la frecuencia $1/T$ de las intervenciones o campañas preventivas contra el VIH, por parte de los organismos de salud pública.

Según la 61ª Asamblea Mundial de Salud, auspiciada por la OMS¹⁹, en su apartado WHA 61.17 referido a la salud de los migrantes; plantea la necesidad de un diálogo continuo entre los diferentes sectores de toma de decisiones en política migratoria. El documento mencionado invita también a los estados miembros a formular y aplicar nuevas y mejores estrategias, destinadas a garantizar la salud de toda la población en puertas a este nuevo fenómeno.

En línea con dicho planteamiento¹, se puede proponer que en las diferentes fases (salida, viaje y destino) del proceso migratorio sean consideradas para la elaboración de políticas más realistas de intervención ajustadas a la dinámica actual. Así, teniendo en cuenta la determinación de los migrantes por salir de las condiciones que los limitan; es posible diseñar programas educativos destinados a la prevención y control del VIH. Quizás, por factibilidad, focalizados principalmente en la primera etapa, es decir, antes que el individuo salga de su país de origen.

En el destino también se conocen iniciativas exitosas. Así lo evidenció un estudio sobre VIH desarrollado en la frontera de Estados Unidos con México a un grupo de trabajadores migrantes usando fotografías y radionovelas²⁰. Se les educó respecto a pruebas de VIH, uso del condón y sobre recomendaciones de cómo vivir con el virus. El grupo mejoró las creencias y actitudes en pro del uso de preservativos. Los planes de entrenamiento de “promotores de salud” de la misma comunidad, entregando condones e instructivos en su uso, ha favorecido el vínculo entre los migrantes y los organismos formales de salud pública. Esta es una política replicable para Chile, que de resultar efectiva puede ser beneficiosa, no solo dentro de la comunidad de migrantes, sino también para toda la comunidad local.

Un tema vinculado al aumento de los individuos que dejan el grupo descuidado (elevar α) son las campañas que tienden también a la detección de individuos que no están conscientes de su situación de portadores; ya que una persona diagnosticada de VIH es más fácil de reeducar hacia la abstinencia o el uso de barreras y, probablemente, también su entorno de susceptibles. Entre 2010 y 2017 se pasó de 3000 a 6000 casos diagnosticados, en tanto en 2018 fueron cerca de 1000. A consideración del presidente de la Corporación Sida Chile, el médico Carlos Beltrán²¹, a futuro se debe llegar a gran parte de los al menos 25 000 portadores no diagnosticados que, se estima, existen en Chile.

Conclusión

La calidad de un programa de intervención puede hacer una gran diferencia²². Este artículo recomienda un plan multinivel con diferentes opciones para la reducción del riesgo. Además, afirma que campañas basadas en la abstinencia o pareja única resultan hoy en día inapropiadas e ineficientes, especialmente en sociedades cada vez más pluralistas.

La medida gubernamental tendiente a aumentar la búsqueda de casos está en la dirección correcta²³, pues esto significa aumentar α o

aumentar la frecuencia $1/T$, pero sólo cuando efectivamente los portadores accedan a un tratamiento de supresión viral más otro programa educativo que les permita dejar el grupo descuidado, si estaban originalmente localizados en él.

Sin embargo, el subestimar el rol del uso del condón (sea o no fetiche) y centrarse en estrategias reactivas, como lo denuncia la Fundación SIDA Maule²⁴, es poco aconsejable. Ello porque es otro modo, quizás más determinante, de disminuir D_∞ (ver ecuación (5)), a través de elevar α . Por otro lado, aunque no exista evidencia de una mayor incidencia de VIH en la población migrante, el rol del factor λ como la fracción inmigrante descuidada, es uno de los factores de proporción directa que define el nivel endémico de largo plazo D_∞ .

Notas

Contribución de auditoría

FDC: conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, redacción (revisiones y ediciones), supervisión, administración del proyecto.

MGC: conceptualización, investigación, redacción (revisiones y ediciones).

JPG: metodología, investigación, gestión de datos, presentación de datos, preparación de manuscrito (desarrollo del borrador original), visualización.

RIG: investigación, gestión de datos, presentación de datos, visualización.

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de intereses con la materia de este artículo.

Fuentes de financiamiento

Los autores declaran que no hubo fuentes de financiación externas.

Agradecimientos

Agradecemos a la Línea de Análisis Epidemiológico del programa de Doctorado en Modelamiento Matemático Aplicado, Universidad Católica del Maule.

Referencias

1. Zimmerman C, Kiss L, Hossain M. Migration and health: a framework for 21st century policy-making. *PLoS Med.* 2011 May;8(5):e1001034. | CrossRef | PubMed |
2. Mora C. Globalización, Género y Migraciones. *Polis.* 2008;7(20). | CrossRef |
3. Wolff M. Epidemiología nacional de las enfermedades infecciosas e impacto de la inmigración: 2017. Academia Chilena de Medicina, Santiago; 2017. [on line]. | Link |
4. Gobierno de Chile, Instituto Nacional de Estadísticas. Síntesis de Resultados, Censo 2017. Santiago, Chile: INE; 2018. | Link |
5. Carballo M, Divino JJ, Zeric D. Migration and health in the European union. *Trop Med Int Health.* 1998 Dec;3(12):936-44. | CrossRef | PubMed |
6. Field V, Gautret P, Schlagenhauf P, Burchard GD, Caumes E, Jensenius M, et al. Travel and migration associated infectious diseases morbidity in Europe, 2008. *BMC Infect Dis.* 2010 Nov 17;10:330. | CrossRef | PubMed |
7. Gobierno de Chile, Ministerio de Salud. Situación epidemiológica de las infecciones de transmisión sexual en Chile. Santiago, Chile: MINSAL; 2016. | Link |
8. Cabieses B, Bernales M, McIntyre A. La Migración como Determinante Social de la Salud. En: La migración internacional como determinante social de la salud en Chile: evidencia y propuestas para políticas públicas. Santiago, Chile: UDD; 2017. | Link |

9. Álvarez P. Especialistas descartan inmigración como causa de aumento de casos de VIH: “Somos nosotros los que estamos exportando el virus.” 2018, 12 de abril. El Desconcierto.cl [on line]. | Link |
10. La Tercera. Debilidades en la estrategia contra el Sida. 2017, 30 de Agosto. La Tercera.cl. | Link |
11. Arenas L. Los errores no forzados de la política de VIH. 2017 Diciembre 28; El Desconcierto.cl [on line]. | Link |
12. Castillo-Chavez C, Song B. Dynamical Models of Tuberculosis and Their Applications. *Math Biosci Eng.* 2004 Jul;1(2):361–404. | Link |
13. Córdova-Lepe FD, Gutiérrez Jara JP, Muñoz Quezada MT. An index to quantify individual social responsibility in the decision to be vaccinated. *Medwave.* 2018 Aug 29;18(4):e7237. | CrossRef | PubMed |
14. Córdova-Lepe F, Cabrera Hernández M, Gutiérrez-Jara JP. Modeling the epidemiological impact of a preventive behavioral group. *Medwave.* 2018 Dec 28;18(8):e7396. | CrossRef | PubMed |
15. Chowell G, Nishiura H. Characterizing the transmission dynamics and control of ebola virus disease. *PLoS Biol.* 2015 Jan 21;13(1):e1002057. | CrossRef | PubMed |
16. Gutiérrez-Jara JP, Córdova-Lepe FD, Muñoz-Quezada MT. Dynamics between infectious diseases with two susceptibility conditions: A mathematical model. *Math Biosci.* 2019 Mar;309:66-77. | CrossRef | PubMed |
17. Samoilenko A, Perestyuk N. *Impulsive differential equations.* Singapore: World scientific; 1995.
18. Córdova-Lepe F, Pinto M, González-Olivares E. A new class of differential equations with impulses at instants dependent on preceding pulses. *Applications to management of renewable resources. Nonlinear Anal Real World Appl.* 2012 Oct;13(5):2313–22. | Link |
19. OMS. 61a Asamblea Mundial de la Salud. Ginebra, 19-24 de Mayo 2008. *Resoluciones y Decisiones Anexos.* 2008. | Link |
20. Guerrero Mc Manus F, Mercado-Reyes A. Vidas inimaginadas: gubernamentalidad y medialidad en la prevención del VIH/sida. *Debate Fem.* 2017 Sep;54:34–62. | Link |
21. EMOL. Corporación Sida Chile y polémica por VIH: “El aumento influyó con la migración, pero sólo en 2018.” 2018. *mtv.emol.com* [on line]. | Link |
22. Coates TJ, Richter L, Caceres C. Behavioural strategies to reduce HIV transmission: how to make them work better. *Lancet.* 2008 Aug;372(9639):669–84. | Link |
23. Redbiobio. Chile lidera el alza de contagios de VIH en la región. 2019 Jul 17; *redbiobio.com* [on line]. | Link |
24. Arrieta D. 144 casos de VIH se han detectado en la región del Maule en lo que va de año. 2019 Jul 18; *redmaule.com* [on line]. | Link |

Correspondencia a

Avenida San Miguel 3605
 Talca
 3480112
 Chile



Esta obra de Medwave está bajo una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 3.0 Unported. Esta licencia permite el uso, distribución y reproducción del artículo en cualquier medio, siempre y cuando se otorgue el crédito correspondiente al autor del artículo y al medio en que se publica, en este caso, Medwave.