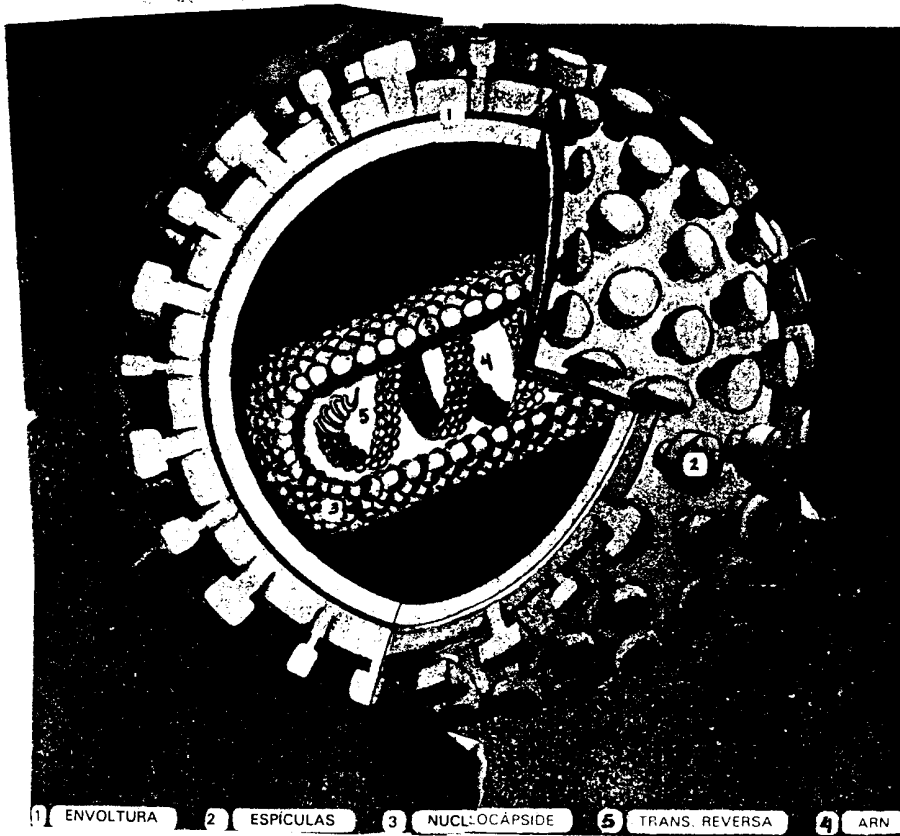

REVISTA DEL SEMINARIO de ENSEÑANZA Y TITULACION

año V11

num. 51



1991

AL ENVIAR SUS ARTICULOS TENGAN EN CUENTA LAS SIGUIENTES

NORMAS:

- ENVIAR SUS ARTICULOS MECANOGRAFIADOS EN MÁQUINA ELÉCTRICA CON LETRA TIPO "LEATHER GOTHIC" A RENGLÓN Y MEDIO Y HOJAS TAMAÑO "CARTA" O BIEN EN CUALQUIER PROCESADOR DE PALABRAS QUE TENGA "DRIVER" PARA IMPRESORA "LASER", CON LETRAS TIPO "GÓTICO" EN FORMATO MEDIO OFICIO A RENGLÓN SEGUIDO. EN CASO NECESARIO DIFERENCIAR LOS NÚMEROS "0" Y "1" DE LAS LETRAS "O" Y "L".
- EL NOMBRE DEL AUTOR JUNTO CON SUS DATOS, INCLUYENDO ALGÚN TELÉFONO, DEBERÁN APARECER EN UNA HOJA POR SEPARADO DEL TEXTO.
- ENVIAR ORIGINALES Y NO COPIAS.
- EN CADA ARTÍCULO DEBERÁ INCLUIRSE RELACIÓN DE LIBROS Y ARTÍCULOS CONSULTADOS BAJO EL TÍTULO DE "REFERENCIAS" O BIEN "BIBLIOGRAFÍA" SOBRE EL TEMA.
- CADA AUTOR RECIBIRÁ CONSTANCIA DE RECEPCIÓN DE SU ARTÍCULO Y UNA VEZ APROBADA SU PUBLICACIÓN CONSTANCIA DE EN QUE NÚMERO APARECERÁ.
- CADA AUTOR RECIBIRÁ CINCO EJEMPLARES DE LA REVISTA.
- LOS TRABAJOS Y CUALQUIER CORRESPONDENCIA DEBERÁN REMITIRSE A:
"REVISTA DEL SEMINARIO DE ENSEÑANZA Y TITULACIÓN"
FACULTAD DE CIENCIAS, DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS
CUBÍCULO 240, MÉXICO 04510, D.F.

CONSEJO EDITORIAL

MAT. HÉCTOR GARCÍA SÁNCHEZ (CCH-NAUCALPAN, UNAM)

MAT. GUILLERMO GÓMEZ ALCARAZ (FC, UNAM)

DR. SANTIAGO LÓPEZ DE MEDRANO (I.M. Y FC, UNAM)

DR. JESÚS LÓPEZ ESTRADA (FC, UNAM)

MAT. PILAR MARTÍNEZ TÉLLEZ (FC, UNAM)

FIS. MAT. VÍCTOR PÉREZ TORRES (CCH-OTE, UNAM)

MAT. LUIS RAMÍREZ FLORES (CCH-AZC., UNAM)

MAT. FRANCISCO STRUCK CHÁVEZ (FC, UNAM)

M. EN C. JAIME GRABINSKY STÉIDER (UAM-A)

LA REVISTA DEL SEMINARIO DE ENSEÑANZA Y TITULACIÓN CONSIDERA PUBLICABLES ARTÍCULOS DE CIENCIAS BÁSICAS, EN PARTICULAR DE MATEMÁTICAS, DE LA MANERA MÁS AMPLIA, DESDE LA MÁS EXTREMA DIVULGACIÓN HASTA ARTÍCULOS TAN TÉCNICA O CONCEPTUALMENTE SOFISTICADOS COMO LO REQUIERA SU CONTENIDO Y EL ESTILO DEL AUTOR BARRIENDO ASPECTOS DE SU ENSEÑANZA, APLICACIONES E INVESTIGACIÓN. EN SU CASO EL ARBITRAJE DE LOS ARTÍCULOS SERÁ ANÓNIMO, LOS ÁRBITROS NO RECIBEN LOS NOMBRES DE LOS AUTORES Y VICEVERSA.

**ACERCA DE LAS POSIBILIDADES DE
MODELACION Y PRONOSTICO DE EPIDEMIAS
DE SIDA SOBRE TERRITORIOS DE
GOBIERNOS INDUSTRIALMENTE
DESARROLLADOS**

Por: BOYEV B . V .¹ y GOMEZ A . G .²



¹Laboratorio de Cibernética Epidemiológica del Instituto de Epidemiología y Microbiología Gamaleya” ACM URSS, Gamaleya Str.18, Moscow 123098, USRR.

²Departamento de Matemáticas de la Facultad de Ciencias, UNAM, México, CU, Circuito Exterior, México, 04510, DF.

En 1990 la enfermedad llamada Síndrome de Inmuno Deficiencia Adquirida (SIDA) continúa creciendo. Hacia mediados de abril en 153 países de la Organización Mundial de la Salud (OMS), fueron reportados 237,110 enfermos de SIDA. Siendo en el mes de marzo en el que se registró la cifra record de 14,000 enfermos. La escala de la epidemia caracteriza la siguiente distribución de la enfermedad:

EUA	.....	124 282 casos
Brasil	.....	10 058 casos
Francia	.....	8 883 casos
Italia	.....	5 307 casos
España	.....	4 633 casos
Alemania	.....	4 544 casos
Canada	.....	3 557 casos
México	.....	3 512 casos
Gran Bretaña	.....	2 920 casos

Más del 50% de enfermos de SIDA ya han muerto.

El número de enfermos asintomáticos portadores del Virus de Inmuno-deficiencia Humana (VIH) es en promedio de 50 a 100 veces mayor que el número de enfermos registrados de SIDA y forman la parte sumergida del iceberg ” en la epidemia de SIDA. A fines del 89 dicha parte sumergida del témpano de hielo según nuestras estimaciones era de entre 2,200,000 y 3,000,000 en EUA, 235,000 en Brasil y alrededor de 1,000,000 en Canadá y México.

La inexistencia de métodos de curación completa para personas afectadas por el VIH/SIDA , así como el costo elevado por atención médica de este tipo de enfermos y toda una serie de factores no favorables ponen a la epidemia del SIDA” en la orden del día como un problema priori-

tario de salud y de la ciencia médica en general. Esto ha trascendido a la opinión pública, la cual considera en porcentajes muy altos que el SIDA es el problema principal de la ciencia médica contemporánea.

En relación con lo anterior resulta ser importante la elaboración de modelos matemáticos adecuados de los procesos epidémicos del SIDA en los países con alto índice de afección por esta enfermedad; el análisis a tiempo de la situación epidémica y el pronóstico de la morbilidad por SIDA, la fundamentación de estrategias racionales de lucha contra la epidemia de SIDA en condiciones de recursos limitados. Todo esto, representa ahora un extraordinario problema científico.

El crecimiento continuo de la morbilidad por SIDA dió a fines de los años 80, en muchos países del mundo un gran impulso a toda una gama de investigaciones científicas referentes al problema del SIDA, entre otras a investigaciones con el fin de elaborar modelos matemáticos. Véase [2],[7],[8].

En este trabajo damos una descripción de las bases metodológicas de la modelación matemática de la epidemia de SIDA para un país desarrollado industrialmente, en el que el VIH circula en varios grupos de la población simultáneamente. Tal metodología tiene su origen en el Laboratorio de Cibernética del Instituto Gamaleya durante los años 1988-1989.

A manera de ejemplo se usaron los datos de la epidemia del SIDA en el territorio de los EUA.

METODOLOGIA PARA LA MODELACION DE LOS PROCESOS EPIDEMICOS DEL VIH/SIDA.

La elaboración del modelo matemático de la epidemia del SIDA prevee la realización de las siguientes investigaciones:

- Estudio de los modelos fenomenológicos VIH/SIDA como enfermedad

infecciosa viral.

- Estudio de los datos estadísticos a disposición sobre el desarrollo de la infección VIH/SIDA, en el conjunto de personas afectadas por el VIH/SIDA ya enfermas de SIDA.
- Mostrar las irregularidades estadísticas estables del desarrollo de la infección del VIH/SIDA en un grupo dado o en la población y así generar información cualitativamente nueva: modelo de infección VIH/SIDA.
- Elaborar y usar el modelo matemático del proceso e infección VIH/SIDA como núcleo de los modelos matemáticos de las epidemias locales” de SIDA (en grupos de riesgo y entre la población base del país).
- La última etapa consiste en elaborar el modelo complejo de la epidemia, formado por los modelos locales por SIDA, según la estructura real de la morbilidad del SIDA en el territorio de un país: esqueleto del modelo matemático complejo” de la epidemia nacional del SIDA.

Bajo la hipótesis de la relación satisfactoria de los problemas arriba enumerados, la creación de modelos nacionales de epidemias de SIDA resulta ya un procedimiento de rutina”. Para países en desarrollo el modelo requeriría de cambios.

MODELO DE LAS REGULARIDADES ESTADISTICAS DEL DESARROLLO DE LA INFECCION

Es evidente que como bases para la elaboración del modelo fenomenológico del desarrollo de la infección VIH/SIDA pueden tomarse las relaciones inmunológicas de las reacciones de la persona ante las enfermedades virales, transcritas al lenguaje de la patogenia de la infección VIH/SIDA, véase [12].

El sistema de ecuaciones que describe el desarrollo de la infección

VIH/SIDA en el individuo pueden ser escritos como un sistema de evolución del tipo general:

$$(1) \begin{cases} d\phi(t)/dt = f(\phi(t), \phi(t - \tau), \beta(t), \alpha) \\ \phi(t_0) = \phi_0(t) \end{cases}$$

donde:

$\phi(t) = (V, F, C_1, C_2, \dots, C_N)$ = vector de fases, cuyas componentes son las concentraciones del agente patógeno VIH y de las poblaciones de células del organismo humano”

β = vector de concentraciones de diferentes sustancias (por ejemplo, de medicamentos)”.

α = vector de parámetros « libres » del modelo.” (caracteriza el desarrollo de la individualidad de la infección del VIH/SIDA)

También resulta evidente que la dinámica del desarrollo de la infección del VIH/SIDA al tiempo t ” puede quedar caracterizada por la trayectoria individual del punto imagen” $\phi(t)$ en el espacio multidimensional de estados (estadio de la infección del VIH/SIDA).

La velocidad del desarrollo de la enfermedad queda dada por la función : $d\phi(t)/dt = a$ a la velocidad de transición de una persona afectada por el VIH del i -ésimo estadio (S_i) al $(i+1)$ -ésimo estadio (S_{i+1}).

El análisis del conjunto de tales trayectorias (historia de enfermedad VIH/SIDA) permite descubrir las regularidades del desarrollo del proceso infeccioso VIH/SIDA en un conjunto de personas y así realizar un paso importante en la creación de un modelo adecuado para la epidemia del VIH/SIDA.

A la estimación de tales regularidades responde el tratamiento estadístico en la computadora, del conjunto de datos clínico- experimentales: análisis del desarrollo de la enfermedad en la representación de una cohorte de individuos infectados por el VIH (en los estadios de latencia y en los enfermos de SIDA). El enfoque usado para la modelación de la epidemia de SIDA en EUA , está finalmente basado en el modelo fenomenológico de la patogenia VIH/SIDA propuesto en 1987 por Redfield y Burke. Véase [4], [12].

El modelo nos da la siguiente estructura del proceso infeccioso VIH/SIDA

- Contacto del individuo susceptible con el VIH. Desarrollo de la fase aguda del patógeno (reproducción activa del VIH bajo ausencia de seroconversión) en las personas atacadas por el VIH. Primer estadio de la enfermedad : u_1 .

- Luego siguen varios estadios asintomáticos, donde con análisis inmunológicos estandar se detectan anticuerpos al VIH, mientras que el estado del organismo se caracteriza por que el sistema inmunológico se ve afectado en distintos niveles. Estadios del 2 al 5 : (u_2, u_3, u_4, u_5) .

- Estadio preSIDA ”, durante el cual en el organismo se registran alteraciones profundas del sistema inmune, aparecen los primeros síntomas del enfermo de SIDA. Sexto estadio: u_6

- Aparece en forma manifiesta la enfermedad. Estadio enfermo de SIDA”: y

- Estadio terminal. Casos letales entre los enfermos de SIDA : z .

La estadística clínica del desarrollo de la enfermedad en la cohorte de 906 personas publicada en [4], nos permitio mediante el modelo proba-

bilístico de nacimiento y muerte” [5], calcular las funciones de distribución de los del primer estadio de la enfermedad :

$f_1(\tau)$, de los latentes : $f_2(\tau)$, $f_3(\tau)$ $f_4(\tau)$, $f_5(\tau)$, de los preSIDA : $f_6(\tau)$, de los enfermos de SIDA : $g(\tau)$, y de los que mueren por SIDA: $h(\tau)$.

Esto constituyó el primer paso de la investigación , la cual arrojó estimaciones probabilísticas del riesgo de desarrollo de todos los estadios de la enfermedad , es decir , se obtiene información cualitativamente nueva acerca de las regularidades estadísticas del desarrollo del VIH/SIDA en el conjunto de personas afectadas por el VIH. La información queda representada en forma integral a través del sistema de funciones: el riesgo de desarrollo de la enfermedad por estadios:

$$\gamma_i(\tau) , \quad /i = 1, 2, 3, 4, 5, 6/ \\ \delta(\tau)$$

y las funciones de distribución de las personas afectadas. por estadios del modelo fenomenológico de la patogénia de la infección del VIH/SIDA :

$$f_j(\tau) , \quad /j = 1, 2, 3, 4, 5, 6/ \\ g(\tau) \text{ y } h(\tau)$$

El modelo fenomenológico adecuado de la infección del VIH/SIDA y el sistema señalado de funciones permitió plantear un nuevo modelo matemático de la epidemia del SIDA , en el que el estado del proceso epidémico se transforma a través de algunas funciones de estado $u_1(t, \tau)$, $u_2(t, \tau)$, $u_3(t, \tau)$ $u_4(t, \tau)$, $u_5(t, \tau)$, $u_6(t, \tau)$, $y(t, \tau)$ y $z(t)$ donde: $t =$ tiempo real del proceso”. $\tau =$ ”tiempo transcurrido después de haber contraído la infección del VIH”.

En su conjunto las ecuaciones del nuevo modelo matemático de la epidemia del SIDA expresan la cinética de interacción de los flujos de personas

susceptibles al VIH : $x(t)$ con los contagiados de los 6 estadios de latencia de la enfermedad:

$u_i(t, \tau)$ / $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ / con los enfermos propiamente de SIDA $y(t, \tau)$ y con los que mueren de SIDA $z(t)$, mediante un sistema de ecuaciones de transferencia [3].

MODELO DETERMINISTA DE LA EPIDEMIA DE SIDA

El modelo matemático de la epidemia del SIDA concebido como una cadena de regularidades relacionadas unas con otras de los casos afectados por el VIH con los casos de enfermos de SIDA propiamente , puede ser planteado con base en una teoría más general de grandes epidemias elaborada por el prof. Rvachov desde mediados de los años 60, véase [1], [13].

Por ejemplo en este contexto, el modelo matemático de la epidemia de SIDA local ” para el grupo de homosexuales bajo la hipótesis de que todos lo enfermos de SIDA $y(\tau, t)$ han sido aislados de los susceptibles $x(t)$, queda dado por el sistema de ecuaciones integrodiferenciales no lineales de la forma :

$$\frac{dx(t)}{dt} = (1 - \alpha + \beta)x(t) - [\lambda(t)x(t)/p(t)] \sum_{j=1}^6 \int_0^{T_j} q(u_j)u_j(\tau, t)d\tau$$

$$\frac{\partial u_1(\tau, t)}{\partial \tau} \frac{\partial u_1(\tau, t)}{\partial t} = -[\gamma_1(\tau) + \alpha]u_1(\tau, t)$$

$$\frac{\partial u_i(\tau, t)}{\partial \tau} + \frac{\partial u_i(\tau, t)}{\partial t} = \gamma_{i-1}(\tau)u_{i-1}(\tau, t) - [\gamma_i(\tau) + \alpha]u_i(\tau, t) \quad /i = 2, 3, 4, 5/$$

$$\frac{\partial u_6(\tau, t)}{\partial \tau} + \frac{\partial u_6(\tau, t)}{\partial t} = \gamma_5(\tau)u_5(\tau, t) - [\gamma_6(\tau) + \alpha]u_6(\tau, t)$$

$$\frac{\partial y(\tau, t)}{\partial \tau} + \frac{\partial y(\tau, t)}{\partial t} = \gamma_6(\tau)u_6(\tau, t) - [\delta(\tau) + \alpha]y(\tau, t)$$

$$\frac{dz(t)}{dt} = \int_0^{T_7} \delta(\tau)y(\tau, t)d\tau$$

$$p(t) = x(t) + \sum_{i=1}^6 \int_0^{T_i} u_i(\tau, t)d\tau$$

$$w(t) = \int_0^{T_6} \gamma_6(\tau)u_6(\tau, t)dt$$

Con las condiciones a la frontera en los estadios del proceso de infección:

$$u_1(0, t) = [\lambda(t)x(t)/p(t)] \sum_{j=1}^6 \int_0^{T_j} q(u_j)u_j(\tau, t)dt$$

$$u_i(0, t) = 0 \quad /i = 2, 3, 4, 5, 6/$$

$$y_1(0, t) = 0$$

y con las condiciones iniciales del proceso epidémico:

$$x(t_0) = 0$$

$$x_i(\tau, t_0) = f_i(\tau)u_i(0, t_0 - \tau) \quad /i = 1, 2, 3, 4, 5, 6/$$

$$y(\tau, t_0) = g(\tau)u_1(0, t_0 - \tau)$$

$$z(t_0) = z_0$$

donde:

t = "tiempo real del proceso",

τ = "tiempo para un individuo ocurrido desde el momento de su contagio con el VIH",

$\gamma_i(\tau)\Delta\tau$ = "probabilidad de alcanzar el estadio de latencia u_{i+1} a partir del estadio u_i durante el tiempo $\Delta\tau$."

$\delta(\tau)\Delta\tau$ = "probabilidad de muerte del enfermo de SIDA durante el tiempo $\Delta\tau$ ".

$\alpha \Delta\tau$ = "probabilidad de muerte de la persona infectada por otros motivos",

$\beta\Delta\tau$ = "Probabilidad de que aparezcan nuevos individuos en el grupo de riesgo por motivos sociales u otros motivos".

T_i = "El tiempo de duración máxima de la latencia u_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)

T_7 = "El tiempo de duración máxima del estadio "enfermos de SIDA".

$\lambda(t)$ = "Frecuencia promedio de transmisión del VIH de los infecciosos a los susceptibles" (se determina experimentalmente)

$q(u_i)$ = "Contagiosidad del infectado del estadio i -esimo de latencia. (depende de la concentración del virus en el material infeccioso del infectado (se determina experimentalmente)

$f_i(\tau)$ = "funciones de distribución de los afectados por el VIH en los estadios de latencia del proceso de infección VIH/SIDA".

$g(\tau)$ = "La función de distribución de los enfermos de SIDA".

$h(\tau)$ = "La función de distribución de los muertos por SIDA".

$w(t)$ = "Morbilidad por SIDA".

La velocidad de contagio del VIH queda determinada por una serie de factores endógenos y exógenos de la epidemia, en primer lugar el mecanismo de contagio del VIH: La inyección de material infectado al torrente

sanguineo, contactos homo ó heterosexuales, etc. véase [2].

En el modelo propuesto la intensidad $\lambda(t)$ de contagio del VIH: a nuevas personas en el grupo de homosexuales se define por la relación de una serie de factores del mecanismo de transmisión de la infección del VIH:

$$(3) \lambda(u_i(\bullet), d, ..) = p(u_i(\bullet), d)n(dt/tk)(1 - c)$$

donde:

$p(u_i(\bullet), d)$ = "La probabilidad de contagio de los individuos susceptibles, dependiente del estadio de la enfermedad u_i de la pareja infectada y de d la dosis del agente infeccioso".

n = "Número promedio de nuevas parejas sexuales en un período determinado de tiempo (mensual)".

$\frac{dt}{tk}$ = "Número promedio de contactos sexuales durante el tiempo τ ".

tk = "Tiempo promedio entre contactos sexuales".

c = "Frecuencia promedio (probabilidad) con la que se usan medios individuales preventivos de defensa contra el VIH en los contactos sexuales".

La solución numérica de las ecuaciones del tipo SIDA local " son posibles en computadoras compatibles con PC/AT, calculandose los parámetros de la epidemia mediante un algoritmo numérico especial obtenido con un esquema en diferencias estable basado en [6].

La realización computacional del modelo de " SIDA local" en el grupo de homosaxuales fue hecho en Turbo C (SIGMA-1.C) y basado en este se construyó un programa más complicado (SIGMNA-R.C) correspondiente al modelo multigrupos de la epidemia de SIDA sobre el territorio de todo un país.

Las ecuaciones que describen tal modelo de la epidemia de SIDA se obtienen sucesivamente de unir los modelos de "SIDA local" correspondientes (ML_i) para n grupos de riesgo y la población base del país, esto es :

$MR = ML_1 + ML_2 + \dots + ML_n$. Vale hacer notar que tanto en EUA como en diferentes países europeos se tienen varios modelos para epidemias de SIDA, véase por ejemplo [7], [8],[9],y [11], todos ellos se caracterizan por usar el más simple de los modelos fenomenológicos para la infección VIH/SIDA con 2 ó 3 estadios de la enfermedad.

Como resultado de haber realizado la investigación teórica y numérica de la epidemia de SIDA en EUA y otros países, en 1989 el Instituto Gamaleyá desarrolló un sistema de modelos matemáticos llamados SIGMA (Sistema Grupal de Modelos del sida) que permite confeccionar modelos matemáticos conceptuales y computacionales adecuados a los procesos epidémicos del SIDA para países con desarrollo industrial. El sistema de modelos SIGMA SIDA se supone describe en forma más completa y precisa la dinámica de desarrollo del VIH/SIDA, así como la variabilidad del estadio de contagiabilidad de la enfermedad lo que resulta ser importante al modelar procesos epidémicos en grupos de homosexuales/bisexuales y entre la población de heterosexuales.

PRONÓSTICOS DEL SIDA PARA ESTADOS UNIDOS

La epidemia de SIDA continúa siendo el punto más "sensible" de salud pública en EUA durante 1990. De nuevo el 89% de los enfermos de SIDA está formado por representantes de los grupos de riesgo: homo y bisexuales, heterosexuales activos, además de los drogadictos enfermos [7]. La morbilidad por SIDA tiene una elocuente tendencia al crecimiento

observándose un aumento en el número de casos de SIDA entre la población de heterosexuales.

El dar una fundamentación del pronóstico de SIDA en EUA a mediano (3-5 años) y largo plazo permite responder a la pregunta: "hacia dónde se desplaza" la epidemia, lo cual daría luz sobre la epidemia en el país de mayor incidencia, donde se dispone de los mejores datos, aunque tampoco es accesible la información sobre muchos factores del proceso infeccioso VIH/SIDA y de la epidemia en sí.

La experiencia adquirida en la elaboración de modelos de epidemia de gripe [1], [13] permitió elaborar este modelo del SIDA para EUA.

En cuanto a falta de información se tuvo que tomar como correctas las hipotéticas estimaciones previas sobre el grado de contagiosidad de los estadios de latencia de la enfermedad. También se tomaron como artículo de fe" las estimaciones de las probabilidades de infecciosidad del VIH en función del comportamiento sexual. Todo esto a partir de los trabajos [4,7,8,9,10,11,12].

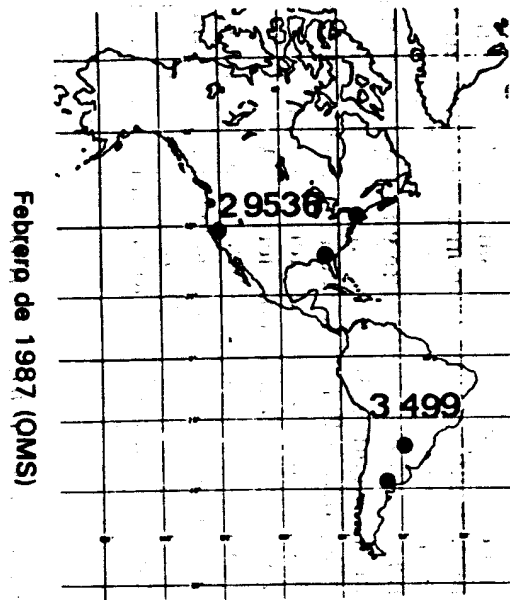
Se tuvieron que resolver problemas auxiliares relacionados con la reconstrucción de información con base en datos incompletos o indirectos. El análisis de los materiales del Centro de Control de Enfermedades de EUA (CDC) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el problema del SIDA permitio formular un modelo de compromiso SIGMA-4 EUA"constituido por 4 modelos locales de SIDA,para homosexuales y bisexuales (hasta el 1.5% de la población de EUA), para drogadictos (hasta el 0.5% de la población), para heterosexuales activos (hasta el 1% de la población -hombres y mujeres con alta actividad sexual-), y para la población básica heterosexual de los EUA (de 40 a 44%).

Al realizar esta modelación se despreciaron los procesos de poca contagiosidad del VIH y poca morbilidad del SIDA en algunos grupos de la población de los EUA (perinatales, hemofílicos, de fuente desconocida de infección etc.).

El modelo SIGMA-4 EUA" simula la dinámica de la morbilidad del SIDA y los procesos de estadios de latencia de la enfermedad con una precisión del orden del (8-10%).

La realización práctica del modelo SIGMA - 4 EUA" (programa SIGMA-R4.C) está ligado con el modelo test sobre estadísticas reales de la morbilidad del SIDA dados por el CDC y con la medida de convergencia de la morbilidad estimada mediante cálculos $W_s(t)$ y la real $W_r(t)$.

Los resultados de los cálculos realizados aparecen en la Fig. 1.



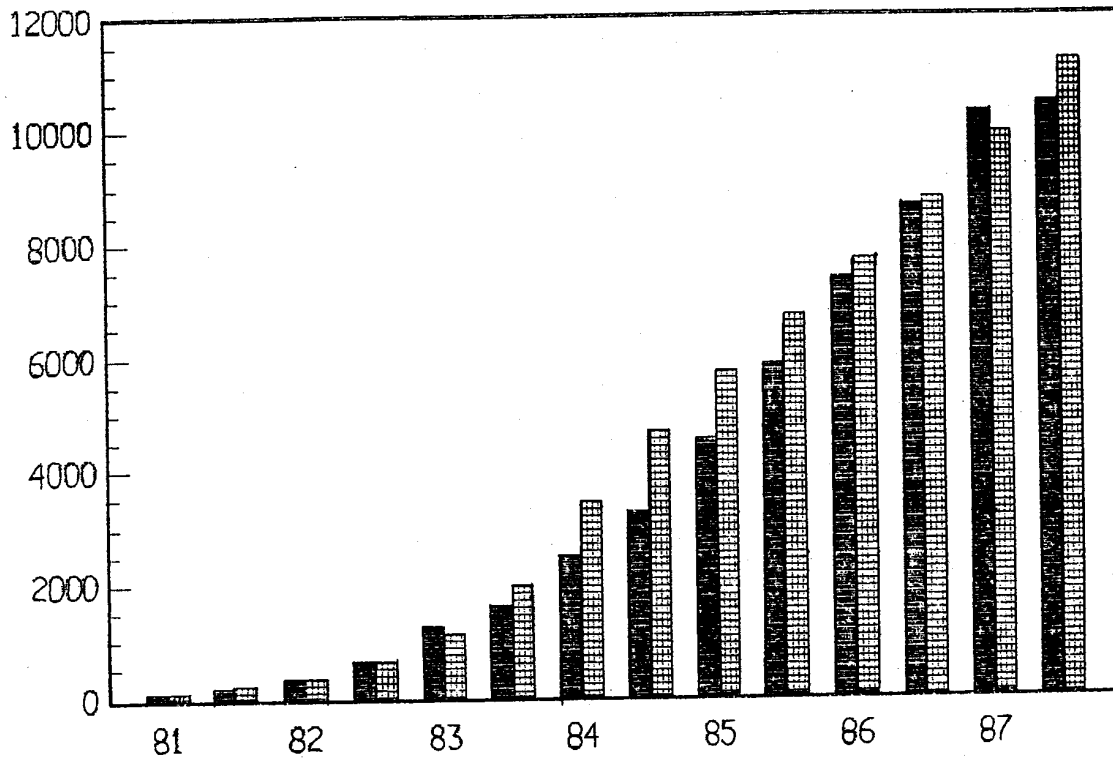


FIG.1 Resultados experimentales con ensayos del modelo SIGMA-4 USA" con base en los datos del Centro de Control de Enfermedades (CDC) /Registros de intervalos semianuales / Barras oscuras: estadísticas del CDC. Barras claras: simulación dada por el modelo Eje de las abscisas: tiempo (en años y semestres) Eje de las ordenadas: enfermos de SIDA.

La convergencia del pronóstico del modelo de morbilidad del SIDA en EUA se ilustra en la Fig. 2 , en la que se muestran los valores calculados (pronosticados de morbilidad del SIDA en 2 puntos" de antemano no accesibles, 1° y 2° semestres de 1989.

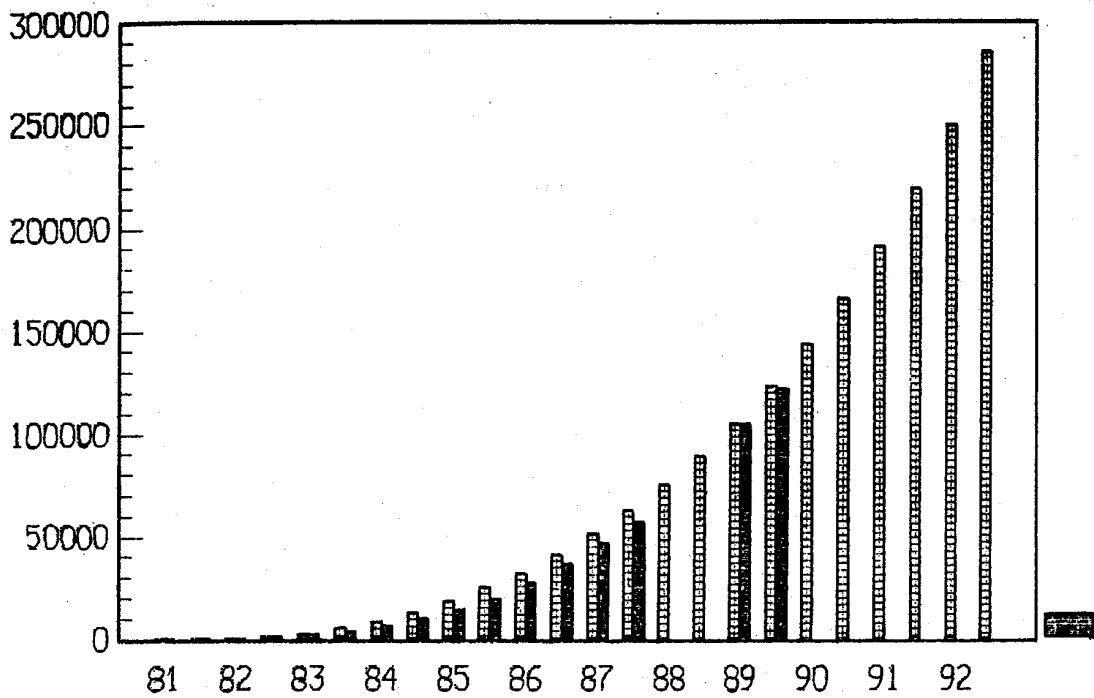


FIG.2 Pronóstico a mediano plazo del número total de casos de SIDA en EUA. /Registros de intervalos semianuales/ Barras oscuras: Estadísticas del CDC. Barras claras: simulación con modelo. Eje de abscisas: tiempo (en años). Eje de ordenadas: numero de casos de SIDA.

Los valores de la morbilidad durante 1989 fueron recibidos varios meses después de la corrección del modelo y de la realización de los cálculos del pronóstico.

El pronóstico de la morbilidad de SIDA en EUA se realizó con varios escenarios de la epidemia. El escenario básico" corresponde a condiciones de disminución de la velocidad de contagio del VIH tanto en los grupos de riesgo como entre la población heterosexual de los EUA. Los resultados de los cálculos son dados en la Fig. 3 de donde se desprende, por ejemplo

que a inicios de 1993 el número de enfermos en EUA alcanzará las 280 mil personas. El pronóstico dado por Gail Brookmeyer con modelos tipo "SIDA regional" de la Universidad de John Hopkins, véase [7], es de 280 mil personas enfermas de SIDA. El número de portadores del VIH en EUA, según nuestros cálculos aumentan para 1993 en más de 5 veces: con 1.5 millones en 1988 a 10-11 millones en 1993.

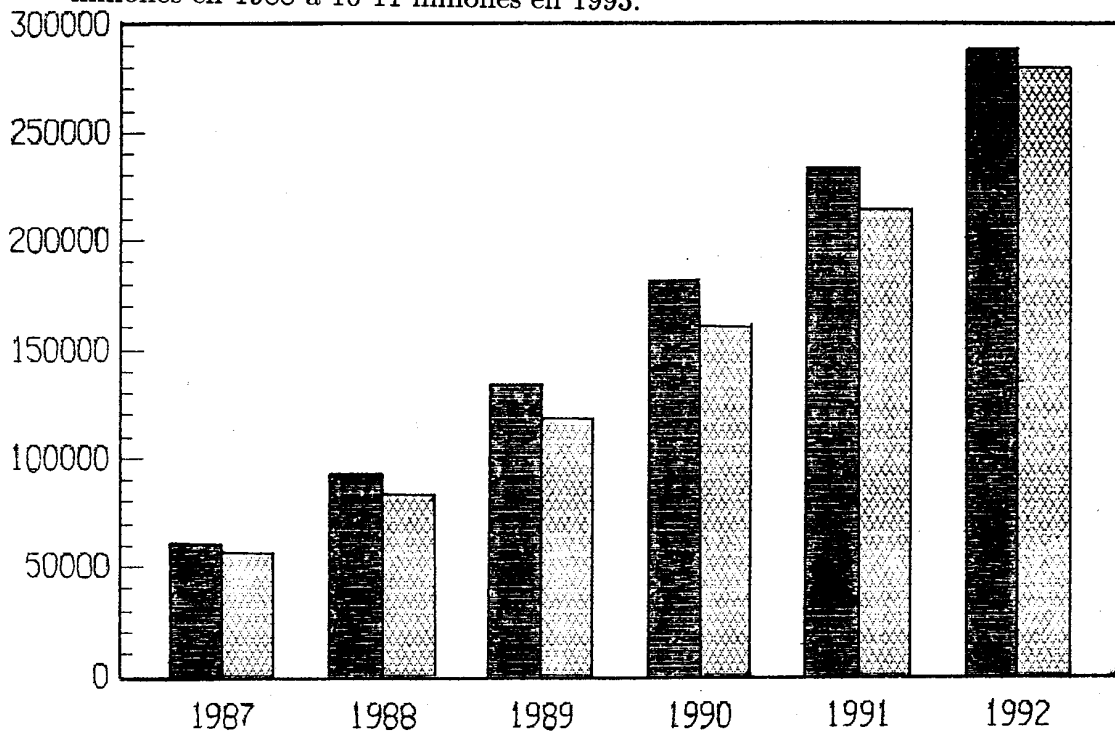


FIG.3 Pronóstico a mediano plazo de número total de casos de SIDA en EUA. /Registros de intervalos semianuales / Barras oscuras: pronóstico según el modelo de Gail Brookmeyer. Barras claras: Pronóstico con el modelo SIGMA-4 USA" Eje de abscisas : tiempo(años) Eje de ordenadas : número de casos de SIDA.

La comparación del número total de enfermos de SIDA en EUA para 1993 con el modelo de la universidad John Hopkins y el dado con el modelo SIGMA-4 EUA " muestran una buena compatibilidad , véase la Fig.3,

no obstante las diferencias sustanciales en cuanto a la metodología en la modelación. Esto significa que los modelos tipo SIGMA” pueden competir con modelos similares planteados a partir de principios muy distintos.

Un pronóstico a largo plazo de la morbilidad del SIDA en EUA dado por SIGMA-4 EUA” para el periodo 2000-2015 fue obtenido como una respuesta previa a la pregunta hacia dónde se desplaza la epidemia?. El modelo permitió delinear el contorno y la escala” de la futura epidemia de SIDA en EUA y también permitió iniciar el trabajo de búsqueda de estrategias racionales de lucha contra el SIDA. Los cálculos de largo plazo mostraron que el pico del número de infectados por el VIH en los 3 grupos de riesgo aparecen en el año 1993 o 1994. Después de 1997 el SIDA local” en los grupos de riesgo decrece, pero a mediados de los años 90 en EUA aún se conservará una cantidad significativa de portadores del VIH. Si el número de portadores del VIH sobrepasa cierta barrera”, entonces serán posibles un rápido contagio de personas susceptibles de la población básica heterosexual y de los procesos estables de circulación del VIH entre los heterosexuales. En resumen en EUA surgirá bajo tales condiciones, una nueva ola” de infección por el VIH en el grupo de la población más numeroso.

Los cálculos muestran que en los próximos 10-15 años es alta la probabilidad de aparición de una segunda ola” de enfermos de SIDA con una amplitud” de nuevos casos significativamente más grande . Las condiciones para que esto ocurra, las estaría preparando la epidemia actual de SIDA en los grupos de riesgo . La posible penetración” masiva del VIH en la población básica del país : grupo de 110 a 130 millones de personas hace plausible esperar para el año 2006 un pico de infectados que alcanza de 45 a 50 millones de personas. Hacia el año 2015 por causas de haber

enfermado de SIDA pueden morir más de 20 millones de norteamericanos

De acuerdo a lo calculado la pérdida por los 280 mil enfermos estimados de SIDA para 1993, serán superiores a los 120 mil millones de dolares.

A mediados de los años 90 se espera un crecimiento en los gastos dirigidos a la salud , lo cual queda de manifiesto en las tendencias estadísticas del presupuesto de EUA en los últimos años, por lo que es de esperarse que en 1995 - 1996 hasta un 30% de dicho presupuesto , directa o indirectamente será asignado a la epidemia del SIDA.

La necesidad de toma de decisiones drásticas se muestra en la fig.4

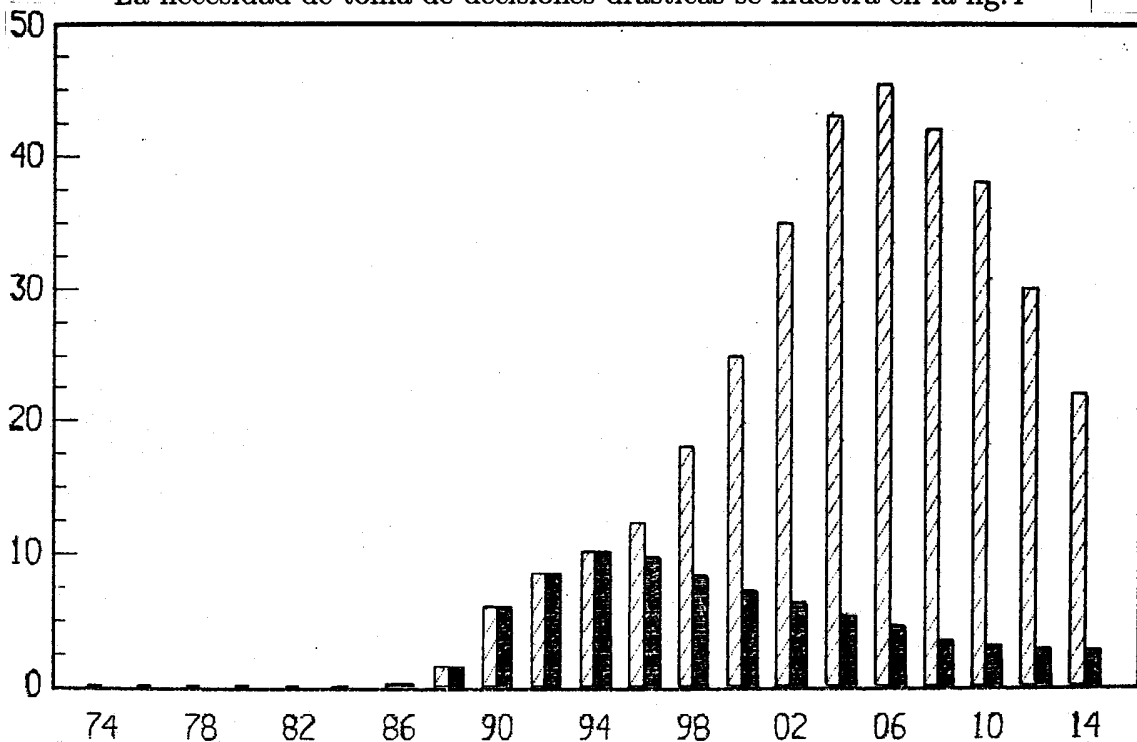


FIG.4 Pronóstico a largo plazo del número de portadores del VIH en USA Barras oscuras: lucha exitosa contra la epidemia Barras claras : desarrollo inadecuado de la epidemia Eje de abscisas: tiempo (años). Eje de ordenadas: Millones de portadores del VIH.

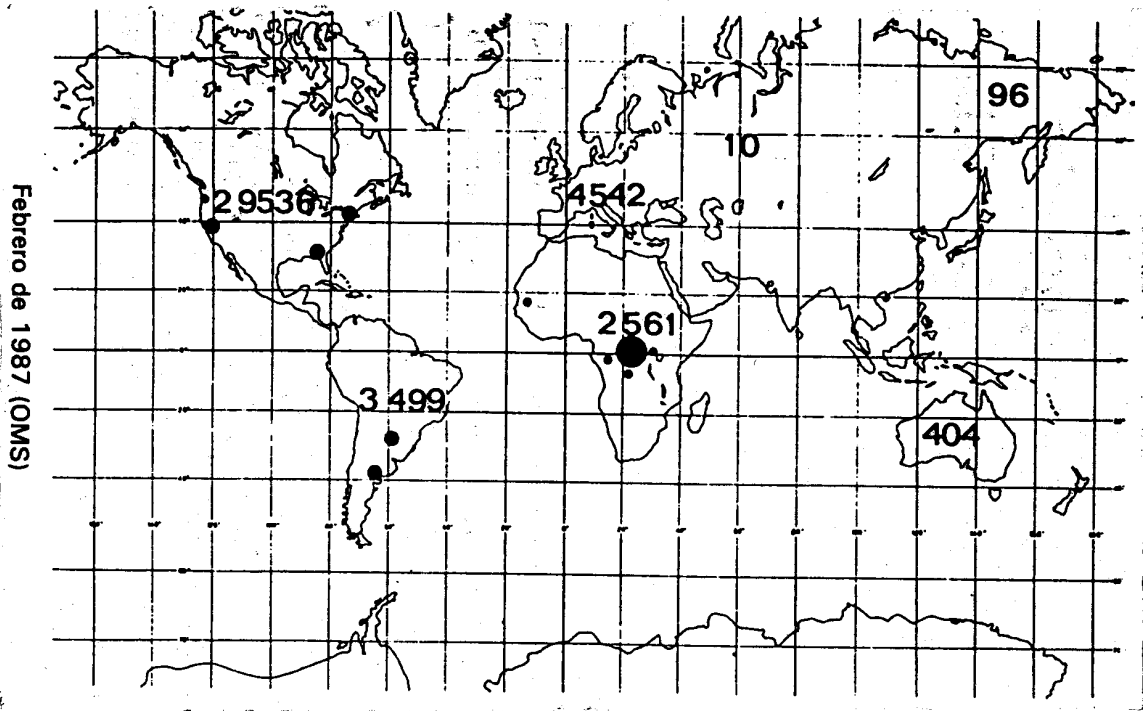
donde se muestra la dinámica de las estimaciones del número de portadores del VIH en EUA para dos escenarios del posible desarrollo de la epidemia : conservación del escenario básico” de infectados por el VIH en los grupos de riesgo hasta el año 2015, o bien la penetración” del VIH/SIDA al grueso de la población.

Una exitosa campaña contra el SIDA desde los primeros años de el decenio de los 90 llevará a alguno de los extremos mencionados en los siguientes 20-30 años.



REFERENCIAS

- [1] Baroyan A.V., RVACHOV L.A., IVANNIKOV YU.G.. Modelirovanie y prognozirovanie epidemii gripa dlya territorii SSSR. M., Znanie 1977 (en ruso).
- [2] BOYEV B.V., Sistema matematicheskij modeley epidemicheskij protsessov spid-sigma (en: informatika v epidemiologii, M., Inst.Gamaleya , AMN, URSS, 1990, 83-89 (en ruso).
- [3] VLADIMIROV V.S.. Uravniénie Matematícheskoy Físiki, M. Nauka., 1967.
- [4] REDFIELD R., BURKE D.. Scientific American, No.12 1988, 60- 69
- [5] PROJOROV Yu.V., ROZANOV Yu.A.Teoriya Veroyatnostey , M., Nauka 1987.
- [6] SAMARSKII A.A., Teoriya Rasnostnyj Sjiem, M., Nauka 1989.
- [7] HEYWARD W.L. CURRAN J.W.. Scientific American, N^o 12 , 1988, 40-49
- [8] GAIL M.H., BROOKMEYER R.. J.Nation. Cancer Inst.vol.80, 1988, 900-911
- [9] HYMAN J.M., STANLEY E. A..Math. Biosci., vol.90 , 1988, 415-473
- [10] LONGINI I.M., CLARK W.C. BYERS R. H. et al.Stat.in Med., vol.8, 1989, 831-843
- [11] MAY R. M., ANDERSON R. M..Phil.Tans. R. Soc. Lond., vol 321, 1988, 565-607
- [12] REDFIELD R., BURKE D..Viral Immunology, vol.1, spring 1987, 69-81
- [13] Ruiz Hernandez A. Un Modelo Matemático para la Gripe, Revista del Seminario de Enseñanza y Titulación , vol.VII , Num.57, 1991.
- [14] CDC.1989 .AIDS Weekly Surveillance Report.Centers for Disease Control, Public Health Service, U.S. Departament of Health and Human Services (January 30).



Febrero de 1987 (OMS)

capturado por :

A. B. PEDRO

Facultad de Ciencias UNAM