

Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología

FONDOS ACÚSTICOS DE LA REGIÓN NORORIENTAL DE CUBA

Dr. Carlos Barceló Pérez¹

RESUMEN

Se estudió la sonoridad, la fracción de energía audible, la estabilidad del nivel sonoro y los espectros de ancho de banda porcentual constante de fuentes de ruido características de regiones geomorfológicas de la zona nororiental de Cuba, con el objetivo de describir sus fondos acústicos y contribuir a la microlocalización de asentamientos humanos de proyectos en desarrollo. La metodología utilizada se basó en las determinaciones de medidas resúmenes en los niveles sonoros estables y los espectros de un conjunto de puntos vinculados a distintas regiones geomorfológicas. Los niveles más reducidos de sonoridad y audibilidad correspondieron a los paisajes menos antropizados, más forestados y deprimidos por el relieve, correspondientes a las zonas altas, forestadas y de complejidad topográfica. Se encontró una dependencia lineal entre los parámetros del entorno, en términos de altura y meteorología, y los del sonido del fondo acústico. Los espectros de sonido de las familias de fuentes oscilaron, pero su tendencia resultó esencialmente de 2 tipos: espectralmente planos (ruido blanco: aguas fluviales, litorales y bosques bajos) y especialmente exponenciales (ruido rosa; bosques altos y pastizales, ruido antrópico) con decrecimiento de la energía con la frecuencia. Los parámetros físicos del sonido contrastaron selectiva y significativamente en 8 regiones geomorfológicas estudiadas del nororiente de Cuba. Las fuentes urbanas, industriales y del transporte marcaron singularidades acústicas del territorio

DeCS: MEDICION DEL RUIDO; ESTIMULACION ACUSTICA; MEDIO AMBIENTE Y SALUD PUBLICA; CONTAMINACION SONORA.

El sonido, como perturbación ondulatoria de un medio elástico o mecánico, es una manifestación física de un entorno y ambiente. Se produce en cierto ambiente, o llega a él y *en él resulta modulado, amplificado* transmitido o extinguido, en arreglo con las leyes de la óptica geométrica.¹ Un sonido particular sobre un fondo acústico obra como una señal y ten-

drá uno u otro significado en dependencia del fondo² y de la historia de los eventos sonoros. Las especies con sentido de la audición interpretan la información portada por el sonido y modulan su conducta y subsistencia a tenor de esta información.

Los procesos productivos; incluida la extracción de materia prima, su transformación en productos, consumo y elimina-

¹ Doctor en Ciencias Físicas. Investigador Titular. Profesor Auxiliar.

ción de desechos domésticos e industriales; generan riesgos directos e indirectos para las poblaciones con posibles modificaciones de los ecosistemas.³ Si estos procesos cambian el ámbito sonoro debe verse un impacto informacional que puede influir en las especies biológicas. La problemática del ruido o sonido indeseable para una población humana ha sido descrita en términos agudos de salud según una repercusión al nivel auditivo y por efectos psicósomáticos inespecíficos, estos últimos relacionados, en gran medida, a reacciones del tipo compensativo-adaptativas en el marco de la reacción general de estrés.

El ruido de los territorios urbanos ha sido estudiado en muchos países industrializados y en diferentes países de la región iberoamericana: en Bolivia,⁴ Brasil,^{5,6} Colombia,^{7,8} Chile,^{9,10} Cuba,^{11,12} Ecuador,¹³ España,^{14,15} Guatemala,¹⁶ México,^{17,18} El Salvador¹⁹ y Venezuela.²⁰ Como elemento común se menciona la unánime contaminación acústica urbana. La prevención de tal contaminación se consigue por la observación de la zonificación sanitaria en la microlocalización de inversiones; la que se establece a partir de los niveles de fondo acústico de un territorio. No obstante, no se encuentran publicaciones con estudios de fondos acústicos naturales reportados en revistas biomédicas o relacionadas con la salud ambiental. En este marco, diversos proyectos en desarrollo favorecen a la formación y el fortalecimiento de asentamientos humanos, cuya óptima microlocalización supone un conocimiento del fondo acústico regional.

La región nororiental de Cuba enmarca proyectos de desarrollo minero de relativa envergadura. Sin embargo, no se habían realizado hasta el presente estudios de fondo acústico de este territorio, pues sólo se han reportado determinaciones de contaminación sonora en las viviendas habitadas de

proyectos típicos y en su entorno en la ciudad de Santiago de Cuba (Martínez e Idoy, Tesis de Maestría INHEM, 1991); afecciones psicósomáticas inespecíficas en las amas de casa de la misma ciudad del sur de oriente (Artiles, Trabajo de Terminación de Residencia INHEM, 1991) y niveles sonoros de calles de Las Tunas, al oeste de oriente (Alleyne, Tesis de Maestría INHEM, 1997). Es propósito del presente artículo describir los fondos acústicos de regiones geomorfológicas del norte de oriente como línea de base ambiental para proyectos de desarrollo.

MÉTODOS

Se diseñó un estudio descriptivo de la sonoridad, la audibilidad, la estabilidad del nivel sonoro y la composición espectral de las distintas naturalezas de sonido predominantes en el paisaje geográfico. Los lugares de estudio se establecieron opinativamente según 8 zonas geomórficas del territorio en 25 estaciones. Dentro de las zonas se eligieron puntos propios (representativos de una región) y singularidades (representativos de un limitado entorno). Para cada punto se fijaron sus coordenadas, su altura, características de la fisiografía en su alrededor, la vegetación circundante, la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento en el intervalo de tiempo de la medición. Las condiciones cualitativas del entorno se fijaron por inspección visual, en tanto las cuantitativas se extrajeron de cartas planimétricas y mediciones de temperatura y humedad relativa, a través de un psicrómetro de aspiración ASSMAN, en tanto la velocidad del viento se estableció con un anemómetro portátil de cazoletas, por la vía de correcciones de escala. Las temperaturas seca y húmeda se establecieron con incertidumbres de 0,1 °C y la velocidad del viento con 0,5 m/s.

La metódica empleada en las mediciones del sonido, fue compatible con la norma NC:26,1999²¹ (Ruido en Zonas Habitables. Requisitos Higiénico Sanitarios). Se utilizó un sonómetro digital de precisión BK-2230, con un micrófono prepolarizado tipo 4155 acoplado con una capacitancia de 16,9 pF, con respuesta de frecuencia plana en la región de audio con distorsión armónica por debajo del 3 %. El sistema se calibró doblemente, mediante un oscilador de referencia interno y una fuente de referencia en línea. Para el segundo ajuste se empleó un pistófono BK-4230, que portaba una señal de 93,6 dB (lin) a la cabeza del micrófono. El ajuste se efectuó por presión acústica contra el estándar de referencia $2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ a la frecuencia de 1 kHz en cada medición. Las variaciones de la presión estática por la altura de los puntos de medición fueron consideradas en las correcciones de calibración a partir de interpolación cronológica y ajuste por la desviación de la atmósfera ICAO, desde una ecuación hidrostática. El error es inferior a 1 dB (sp1).

RESULTADOS

El estudio de la entropía informacional permitió establecer que un período de 10 min

de medición recogía la información necesaria para representar la dinámica de la sonoridad y la audibilidad dentro de los errores instrumentales en el curso horario del día, en correspondencia con la secuencia de valores Leq acumulados. Por ello, puede concluirse una primacía de la monotonía y el agotamiento del caudal informativo mucho más marcado que en territorios urbanos, tomando en cuenta que en estos últimos territorios se requería más del 80 % del tiempo bihorario de medición para reflejar la información media del sonido.¹¹ Los descriptores estadísticos de audibilidad y sonoridad del territorio permitieron considerarlo en el rango de las zonas rurales antropizadas, en correspondencia con las tablas 1a y 1b. En estas tablas se observó una variabilidad relativamente comparable, aunque algo mayor en audibilidad que en sonoridad, lo que reveló una ligera mayor estabilidad de la energía total que de la fracción audible. El carácter gaussiano de la distribución de frecuencia fue confirmado en Leq , tanto en audibilidad como en sonoridad. Ello es propiciado por la característica promediadora de este indicador a la luz del teorema central del límite.

Los paisajes antrópicos resultaron los de mayor audibilidad y los paisajes más naturales fueron los de menor nivel de audibilidad. El 20 % de los puntos estadia-

TABLA 1a. Descriptores estadísticos de la audibilidad

| Variables continuas | Medias | Coefficiente de variación | Mínimo | Máximo | Coefficiente de asimetría | Coefficiente de apuntamiento | Normalidad al nivel 0,05 |
|------------------------|--------|---------------------------|--------|--------|---------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Leq [dB(A,F)] | 47,9 | 22,0 % | 29,1 | 72,5 | 0,482 | 2,647 | Aceptada |
| $L_{máx}$ [dB(A,F)] | 64,2 | 17,4 % | 47 | 95,7 | 1,140 | 3,908 | Rechazada |
| $L_{mín}$ [dB(A,F)] | 36,8 | 28,1 % | 21,2 | 58,8 | 0,257 | 2,288 | Aceptada |

TABLA 1b. Descriptores estadísticos de la sonoridad

| Variables continuas | Medias | Coefficiente de variación | Mínimo | Máximo | Coefficiente de asimetría | Coefficiente de apuntamiento | Normalidad al nivel 0,05 |
|---------------------|--------|---------------------------|--------|--------|---------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Leq [dB(ln,F)] | 63,1 | 19,0% | 38,6 | 82,6 | -0,114 | 2,0 | Aceptada |
| Lmáx [dB(ln,F)] | 81,1 | 15,5% | 56,4 | 109,6 | -0,209 | 2,922 | Aceptada |
| Lmín [dB(ln,F)] | 45,9 | 25,6% | 30,1 | 74,4 | -0,736 | 2,984 | Rechazada |

dos superaron el nivel máximo admisible del sonido de naturaleza suburbana en exteriores de edificaciones, prescrito en 59 dB (AF) para la hora más desfavorable del período diurno y nocturno de exposición, el que debe favorecer el reposo de las personas en el ambiente de la vivienda, de acuerdo con la NC: 26, 1999.²¹ Ello indicó que parte del territorio ya se encuentra acústicamente deteriorado y que cualquier microlocalización de zonas residenciales debe ser cuidadosa con este factor.

La audibilidad y la sonoridad han sido modeladas según sus variables testigo (Leq: nivel equivalente continuo del ruido fluctuante con parámetro de equivalencia q:3 en 10 min., Lmáx: Nivel máximo maximorum en 10 min., Lmín: Nivel mínimo minimorum en 10 min) en función del lugar de la medición definido en términos de altitud y de las condiciones meteorológicas imperantes reflejadas por la temperatura seca, la humedad relativa y la velocidad prevalente del viento. La modelación ha sido planteada en términos estadísticos de acuerdo con regresiones lineales múltiples generales unidimensionales y optimizadas paso a paso de la forma:

$$y = a + \sum_i b_i \cdot X_i$$

Siendo:

y: Niveles sonoros expresados en dB[AF] (Leq, Lmáx, Lmín).

a :Intercepto.

b_i Pendiente de la variable i.

X_i: Variable predictora i (altitud [m], temperatura [°C], humedad relativa [%], velocidad del viento [m/seg]).

Los resultados del proceso han dado lugar a modelos regresivos obtenidos paso a paso progresivamente, con factor de entrada y de remoción igual a 3 y tolerancia de 0,01 que se muestran para la audibilidad en la tabla 2a y para la sonoridad en la tabla 2b. Según el coeficiente de determinación, mostrado en estas tablas, los modelos ajustados de audibilidad explican el 33 % de la varianza total aproximadamente, lo cual indica que incrementos de la humedad se asocian al aumento de la audibilidad refleja media y mínima, en tanto el incremento de la altura se vincula a la disminución unánime de las variables refleja de audibilidad, de acuerdo con los signos de los coeficientes de regresión. Los modelos ajustados de sonoridad explican el 50 % de la varianza total aproximadamente, según R², se observa que incrementos del viento, la temperatura y la humedad se asocian al aumento de la sonoridad, en tanto el incremento de la altura se vincula a la disminución de sus extremales, por los signos de los coeficientes de regresión.

La modelación estadística de la audibilidad y la sonoridad en función de las condiciones meteorológicas y físicas del

TABLA 2a. *Parámetros y estadísticos de bondad de ajuste de los modelos regresivos de audibilidad*

| Y | Coeficientes de regresión b | | | | Constante a | Error de estimación S_{yx} | Coeficiente de determinación R^2 |
|----------------|-----------------------------|----------------|------------|--------|-------------|------------------------------|------------------------------------|
| | Altitud (m) | Viento (m/seg) | Temp. (°C) | HR (%) | | | |
| Leq [dB(A,F)] | -0,024 | | | 0,249 | 38,046 | 8,4 | 0,36 |
| Lmáx [dB(A,F)] | -0,021 | | | | 70,754 | 9,6 | 0,30 |
| Lmín [dB(A,F)] | -0,021 | | | 0,298 | 22,780 | 8,4 | 0,34 |

HR: Humedad relativa.

TABLA 2b. *Parámetros y estadísticos de bondad de ajuste de los modelos regresivos de sonoridad*

| Y | Coeficientes de regresión b | | | | Constante a | Error de estimación S_{yx} | Coeficiente de determinación R^2 |
|----------------|-----------------------------|----------------|------------|--------|-------------|------------------------------|------------------------------------|
| | Altitud (m) | Viento (m/seg) | Temp. (°C) | HR (%) | | | |
| Leq [dB(n,F)] | | 4,793 | 3,763 | 0,846 | -98,917 | 6,7 | 0,65 |
| Lmáx [dB(n,F)] | -0,009 | 2,704 | 2,796 | 0,638 | -35,039 | 9,7 | 0,40 |
| Lmín [dB(n,F)] | -0,022 | 2,356 | 1,320 | 0,600 | -25,610 | 8,1 | 0,53 |

HR: Humedad relativa.

lugar de medición indica que puede aceptarse una cierta dependencia lineal entre los parámetros del entorno y los del sonido del fondo acústico, lo que evidencia un sensible grado de dependencia del medio circundante físico-meteorológico sobre el fondo acústico.

En las tablas 3a y 3b se pueden observar diferencias de nivel sonoro entre regiones geomórficas. Contrastes sensibles de fracción de energía audible entre los puntos estudiados de los territorios se detectaron en los valores de pico (Lmáx) y en los promedio por energía audible (Leq) relacionados a las fuentes eventuales y aún típicas de cada región, según la tabla 3a. Diferencias significativas de energía total se ven sólo en la variable Lmín, de acuerdo

con la tabla 3b, lo cual sugiere que contrastes sensibles de energía total acústica entre los puntos estudiados de los territorios se detectan sólo en los valores de fondo relacionados con las fuentes más persistentes y generales de cada región. Las fuentes urbanas, industriales, del transporte y los servicios incrementaron sensiblemente la variabilidad dentro de las regiones geomorfológicas.

En el territorio estudiado, el nivel de sonoridad y, más acentuadamente, el de audibilidad están influidos por la existencia de fuentes antrópicas, como es el caso de vehículos automotores, bombas de agua, fonación, de modo que allí donde su número o potencia acústica se incrementa, la distorsión del fondo natural sonoro se ma-

TABLA 3a. Valores medios reflejos de audibilidad en las regiones geomorfológicas estudiadas

| Región geomorfológica | Medias del Leq [dB(A,F)] | Medias del Lmáx [dB(A,F)] | Medias del Lmín [dB(A,F)] |
|--|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Sistema de superficies de planación de la altiplanicie | 42,5 | 57,1 | 32,8 |
| Laderas de las montañas pequeñas del planalto | 40,9 | 58,3 | 26,2 |
| Alturas cársicas altas suroccidentales | 33,3 | 56,7 | 28,3 |
| Llanuras fluvio-marinas y fluviales modeladas por la erosión del occidente | 45,0 | 66,2 | 31,4 |
| Niveles erosivos de premontañas surorientales | 38,7 | 63,9 | 24,9 |
| Terrazas fluviales del Río Mayarí | 58,7 | 74,4 | 50,9 |
| Llanuras abrasivo-denudativas septentrionales | 62,0 | 80,4 | 42,2 |
| Llanuras abrasivas y fluvio-marinas litorales | 54,2 | 64,7 | 47,1 |
| Razón de los cuadrados medios entre las áreas sobre los cuadrados medios dentro de las áreas | 5,44* | 4,23* | 2,87 |

*Significativo a 0,05.

TABLA 3b. Valores medios reflejo de sonoridad en las regiones geomorfológicas estudiadas

| Región geomorfológica | Medias del Leq [dB(lin,F)] | Medias del Lmáx [dB(lin,F)] | Medias del Lmín [dB(lin,F)] |
|--|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Sistema de superficies de planación de la altiplanicie | 55,8 | 73,1 | 41,5 |
| Laderas de las montañas pequeñas del planalto | 63,0 | 81,8 | 41,8 |
| Alturas cársicas altas suroccidentales | 60,0 | 83,4 | 33,7 |
| Llanuras fluvio-marinas y fluviales modeladas por la erosión del occidente | 63,7 | 80,8 | 33,4 |
| Niveles erosivos de premontañas surorientales | 53,4 | 75,9 | 31,3 |
| Terrazas fluviales del Río Mayarí | 68,8 | 91,4 | 54,6 |
| Llanuras abrasivo-denudativas septentrionales | 75,7 | 95,5 | 55,5 |
| Llanuras abrasivas y fluvio-marinas litorales | 70,4 | 82,1 | 62,8 |
| Razón de los cuadrados medios entre las áreas sobre los cuadrados medios dentro de las áreas | 1,84 | 2,01 | 4,77* |

*Significativo a 0,05.

nifiesta en sensibles aumentos de la presión acústica y la presión total. Los niveles más reducidos de sonoridad y audibilidad corresponden a los paisajes menos antropizados, más forestados y deprimidos por el relieve, como zonas alejadas de vías de transporte, de territorios en explotación o servicios, bosques frondosos y depresiones del terreno, con sonido bucólico. Ello

explica los altos niveles sonoros de las zonas llanas en explotación o pobladas y los bajos de las zonas altas, forestadas y de complejidad topográfica.

Los espectros de ancho de banda porcentual constante relacionados con las aguas de los paisajes naturales tienden a oscilar alrededor de un posible continuo nulo de ruido blanco, lo que denota uniformidad de la

energía en las distintas regiones de frecuencia; en tanto los de pasto, teniendo componentes de baja frecuencia del mismo orden de energía que los de aguas, se deprimen en las zonas de frecuencias medias y altas, siguiendo perfiles de ruido rosa. Los de bosques bajos igualmente oscilan sobre una línea de equilibrio paralela a la abscisa, característica del ruido blanco, pero con valores absolutos de energía más bajos. Los espectros de bosques altos semejan también perfiles de ruido rosa, pero son algo más energéticos. Con respecto al bosque bajo, las altas frecuencias resultan algo deprimidas en los bosques altos. El sonido de fuentes industriales y urbanas muestra caracte-

rísticas rosadas con un decaimiento de la energía con la frecuencia, pero con valores más energéticos en todas las frecuencias con respecto a los espectros de ruidos naturales. El sonido de cañaverales, producto del viento, es rico en componentes de frecuencias medias y altas.

Los ritmos de la naturaleza diferencian el clima sonoro en la región del día a la noche. En la figura se observa que bosques tupidos de la altiplanicie a 650 m de altura contrastan espectralmente. El nivel sonoro nocturno presenta un recorrido dinámico más estrecho y energético que el diurno con una sensible componente de alta frecuencia relacionada al ruido de los insectos.

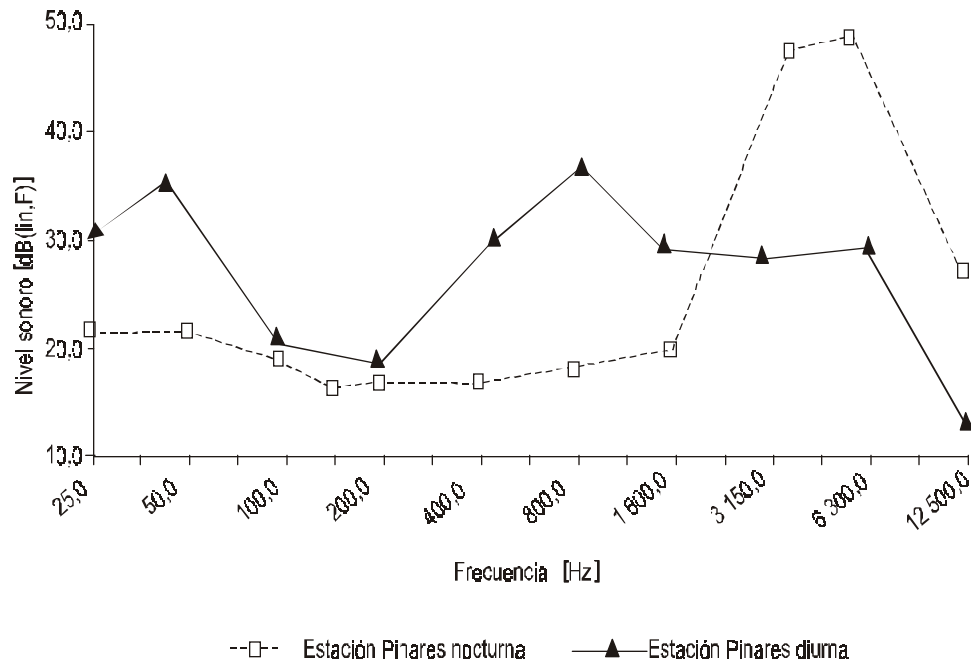


FIG. Espectros de octava diurno y nocturno de bosque alto.

DISCUSIÓN

La audibilidad y la sonoridad del fondo acústico del territorio nororiental de Cuba fueron congruentes con las de un paisaje rural antropizado. El 20 % de los puntos de medición excedió el *nivel máximo admisible* para territorio suburbano de la Norma Cubana NC:26, 1999, con causa en la emisión de fuentes fabriles y de los servicios, las que constituyeron singularidades acústicas del territorio.

Parámetros físico- meteorológicos del entorno circundante mostraron una dependencia lineal con medidas resúmenes del nivel sonoro. La altura reducía el nivel sonoro en tanto la temperatura, la humedad y el viento lo aumentaban.

Se observaron contrastes significativos de algunas medidas resúmenes del nivel

sonoro con 8 regiones geomorfológicas donde los mismos fueron registrados. Aparecieron altos niveles sonoros en las zonas llanas en explotación o pobladas y bajos en las zonas altas, forestadas y de complejidad topográfica.

Los espectros de sonido de las familias de fuentes son oscilantes, pero su tendencia resulta esencialmente de dos tipos: espectralmente planos (ruido blanco: aguas fluviales, litorales y bosques bajos) y espectralmente exponenciales (ruido rosa: bosques altos y pastizales, ruido antrópico) con decrecimiento de la energía con la frecuencia.

El contraste de la variación del fondo sonoro del día a la noche en el bosque aparece enriquecido en alta frecuencia, lo que está condicionado a la aparición nocturna del ruido de los insectos.

SUMMARY

The sonority, the audible energy fraction, the stability of the sound level and the spectra of the percentage constant bandwidth of noise sources characteristic of geomorphologic regions in the northeastern zone of Cuba were studied aimed at describing their acoustic backgrounds and to contribute to the microlocalization of human settlements of the projects under way. The method used was based on the determinations of summary measures at the stable sound levels and on the spectra of set points linked to different geomorphologic regions. The lowest levels of sonority and audibility corresponded to the least anthropical landscapes, which were the most forested and depressed by the relief, found in the high forestal zones of topographic complexity. It was observed a linear dependency between the parameters of the environment, in terms of height and meteorology, and those of the sound of acoustic background. The sound spectra of the families of sources oscillated, but their trend proved to be essentially of 2 types: spectrally flat (white sound: fluvial waters, litorals and forests) and spectrally exponential (rose sound: high forests and pasturelands, anthropic noise). Energy decreased with the frequency. The physical parameters of the sound contrasted selective and significantly in 8 studied geomorphologic regions in the northeastern zone of Cuba. The urban, industrial and transportation sources marked acoustic singularities of the territory.

Subject headings: NOISE MEASUREMENT; ACOUSTIC STIMULATION; ENVIRONMENT AND PUBLIC HEALTH; SOUND CONTAMINATION.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Tonin R. Validation of environmental noise model (ENM Windows). *Acoust Austr* 1997;25(82):75-9.
2. Kuwano S. Comparison of the loudness of inside car noises from various sound sources in the same context. *J Acoust Soc. Japan-(E)*. 1997;18(4):191-5.
3. La Salud en las Américas. Vol I. Washington: Organización Panamericana de la Salud. 1998;368. Publicación Científica No. 569.