

EFFECTOS COMPARATIVOS DE LOS ACCIDENTES DE RADIACIÓN EN CIUDAD JUÁREZ Y EN EL REACTOR DE LA ISLA DE LAS TRES MILLAS

A. L. de Garay*

Conceptos Básicos

Se tiene presente que la variabilidad de los seres humanos cumple con las propiedades de la diversidad biológica, determinada por la interacción del efecto ambiental con el acervo genérico de la población.

En los individuos, existen rasgos fenotípicos tan precisos que permiten su identificación, considerando sus características físicas y mentales, incluyendo rasgos modificados cuyos aspectos sobresalientes, resultan no sólo atípicos sino susceptibles de ser reconocidos como anormales. Se distinguen dentro del rango de la variación anormal, los trastornos hereditarios que se reconocen, tanto en las genealogías familiares en numerosos casos, como por su incidencia en los nacimientos de una generación a otra sin que el rasgo, aunque de origen genético, esté presente en algún progenitor. Esto ya va porque el padecimiento se debe a un gen recesivo del que el progenitor sea portador o porque tenga su origen en una mutación fresca. En ambos casos la anomalía se asocia a la existencia de mutaciones con efecto dañino en la población.

La existencia de genes mutantes, responsables de rasgos anormales, justifica el concepto original relativo a la carga genética de la población, cuyo primer enfoque cuantitativo debe acreditarse a H. J. Muller en su presentación ante la Sociedad Americana de Genética y la publicación correspondiente bajo el título: *Our Load of Mutations* (Muller 1950).

La noción original conduce a una definición cuantitativa donde se parte de un concepto de disminución proporcional de la adaptabilidad, comprendiendo un componente anormal hereditario, que afecta a los fenotipos de los individuos en contraste con la adaptabilidad óptima de los individuos de la población.

*Médico Cirujano, doctor en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM.

El enfoque original de Muller queda contenido en la expresión clásica donde:

$$L = \frac{w_{\max} - \bar{w}}{\bar{w}_{\max}}$$

donde w_{\max} es adaptabilidad máxima, \bar{w} es adaptabilidad promedio y L es carga genética.

Esto significa que existe una variación biológica que corresponde a una carga constituida por rasgos determinados por genes deletéreos que se expresa en cada generación, como una proporción reducida de la variación biológica, correspondiente al proceso general de la mutación y la selección natural comprendidos en la evolución biológica.

La variabilidad biológica en una población tiene su origen en la mutación reconocida como la materia prima de la evolución y, a su vez, responsable del ingreso de genes deletéreos, responsables de rasgos anormales al acervo génico de la población como constituyentes de la carga genética. Dicha carga se tiene o tiende a mantenerse en equilibrio de una generación a otra, de acuerdo con el peso de la mutación recurrente y la presión normalizante de la selección natural.

La evaluación cuantitativa de este equilibrio entre mutación y selección, conduce al establecimiento de la noción de adaptabilidad no en el sentido de la "supervivencia del más fuerte", como fuera inicialmente propuesto por Darwin, bajo la influencia de H. Spencer, sino como contribución genética incrementada en cada generación como resultado de la adaptabilidad w definida como:

$$w = (1 - s)$$

donde s es coeficiente de selección.

El valor de la adaptabilidad o adecuación, implica un sentido comparativo de valor relativo comprendiendo dos genes alternativos, dominante o recesivo responsables de un mismo carácter, uno dando lugar al rasgo normal y otro mutante responsable del carácter menos favorecido, o bien, dos genotipos integrantes de cierto rasgo fenotípico, cuyos efectos se evalúan como medida de la adaptabilidad dentro de un rango comprendido entre 1, 0 o entre 0, 1. Si un gen, comparado con su alelo alternativo tiende a contribuir más extensamente a la siguiente generación, su adaptabilidad se considera con un valor = 1 mientras el gen que sólo contribuye a la descendencia con un porcentaje de la unidad tiene una adaptabilidad w menor que 1.

La adaptabilidad w , de acuerdo con la ecuación, se entiende como una variable dependiente de la selección s , donde el coeficiente de selección s adopta valores comprendidos en un rango de 0 a 1 o de 1 a 0, si por ejemplo, el coeficiente de selección $s = 0.3$, $w = (1 - s) = 0.7$.

Esto significa que si en el acervo génico de una población existieran únicamente dos genes designados como A y a , donde a fuera un gen

recesivo responsable de un rasgo hereditario anormal, capaz de disminuir la capacidad del individuo para contribuir a la siguiente generación con dicho gen, la adaptabilidad de dicho alelo es $w < 1$.

Considerando la hipótesis de dos genes únicos como componentes del acervo génico de la población, A, a , cuyas frecuencias se designan como $p + q = 1$, los tres genotipos posibles presentes en la población, cuyos valores adaptativos fueran designados como $w_0 = 1, w_1 = 1$ y $w_2 < 1$, esto significa que en ese caso la selección actúa contra el genotipo responsable del rasgo anormal que afecta al fenotipo, cuya adaptabilidad $w_2 < 1$ lo que implica una contribución genética menor a la siguiente generación.

El rasgo anormal no desaparece, ya que los genes eliminados bajo el efecto de la selección, finalmente, son renovados por nuevos mutantes; es decir, sustituidos por genes comprendidos en el proceso representado por la mutación de $A \xrightarrow{u} a$ a una tasa u por gameto por generación.

La situación de equilibrio entre la mutación y la selección se define como:

$$\hat{q} = \frac{u}{u + s}$$

donde \hat{q} es la frecuencia del gen a en una situación de equilibrio, sostenido por la tasa de mutación u y el coeficiente de selección s . Si la tasa de mutación por ejemplo es $u=10^{-5}$ / gam/generación y el coeficiente de selección $s = 0.05$

$\hat{q} = 1.9 \times 10^{-4}$ esto significa que 2 de cada 10000 gametos, óvulos o espermatozoides, contienen el gen anormal generado por la mutación recurrente en cada generación.

A partir de las consideraciones anteriores, se puede apreciar con claridad que en toda población existe una carga genética regulada por la presión de la selección natural y el efecto de la mutación recurrente.

Dicha carga se traduce en la existencia de genes mutantes, capaces de expresarse como defectos dominantes, recesivos, ligados al sexo, o como genes que determinan un rasgo anormal cuya intensidad depende de sus efectos aditivos, o bien como anomalías cromosómicas y malformaciones innatas.

Algunos de los genes responsables de los rasgos hereditarios se manifiestan directamente en la población en ciertos individuos que sufren defectos hereditarios aparentes, en el caso de los genes recesivos en forma más frecuente, su presencia queda enmascarada en sus portadores. En general, es válido representar la carga genética de la población como un *iceberg* del que sólo se advierte la presencia del casquete flotante, representativo de los defectos hereditarios aparentes (dominantes, ligados al sexo en varones; cromosómicos heredados

o debidos a nuevas mutaciones; deficiencia mental asociada a genes aditivos o malformaciones congénitas parcialmente genéticas) mientras en la masa sumergida, quedan absorbidas todas las mutaciones ocultas en los heterocigotos; es decir en los portadores sin manifestaciones de anormalidad pero capaces de transmitir los genes a la descendencia.

A partir de numerosos experimentos cuyos resultados se acumulan a partir de la segunda década del presente siglo, se comprueba que es posible incrementar el proceso mutacional bajo el efecto de agentes externos cuyas propiedades se reconocen como mutágenas, carcinógenas o teratógenas. Los mutantes se acumulan en la carga genética de la población y sus manifestaciones prevalecen o pueden prevalecer por numerosas generaciones hasta que su frecuencia alcanza su punto de equilibrio numerosas generaciones más tarde bajo el efecto de la selección.

En el mundo de hoy, existe una preocupación justificada por la ruptura del equilibrio entre la mutación y la selección bajo el efecto de agentes externos capaces de incrementar las tasas de mutación en diversos loci cromosómicos, cuando se sabe que la probabilidad de obtener mutaciones favorables mediante el empleo de agentes artificiales es remota.

Aspectos sobresalientes del accidente de Ciudad Juárez

Se toma como base la información aportada por publicaciones en los Estados Unidos, especialmente revistas científicas: *Science*, *Discovery*, revistas y periódicos de información general. Con apoyo en los datos publicados se precisan los relativos a la manufactura y empleo de la comúnmente llamada "bomba de Cobalto" —en este caso con sombrío acierto— seleccionando la información cronológica sobre la descarga del contenido radiactivo de la bomba de Cobalto en el peso de una camioneta, así como del material radiactivo fundido en unas seis mil toneladas de varilla para construcción y soportes para mesas vendidos a restaurantes en los Estados Unidos.

En los primeros años de la década de los sesenta, la Compañía Picker Inc., en Cleveland Ohio manufactura el aparato para utilizarse en la cura del cáncer, destinado a un hospital situado en Lubbock, Texas. Consecutivamente es adquirido en 1977 por un Centro Médico en Ciudad Juárez donde es almacenado sin utilizarse para fines médicos, al parecer, por la imposibilidad de contar con un especialista en radioterapia.

Cuando el accidente se describe en detalle en la Revista *Science* en Marzo de 1984 bajo el título: "Juárez: An Unprecedented Radiation

Accident", se pone de manifiesto que el conocimiento del hecho tuvo lugar cuando un empleado de la Oficina de Salud de El Paso, Texas informó que a fines de febrero de 1984 su departamento descubrió la existencia de una fuente de rayos gamma, situada en "lado mexicano" cercanamente a una escuela secundaria en C. Juárez emitiendo radiaciones comprendidas en el rango de 1 a 7 miliroentgens por hora. La fuente fue identificada como contenida en una camioneta, ya estacionada durante algunas semanas en una área cercada al otro lado del Río Grande en territorio mexicano.

En los Estados Unidos, el descubrimiento de material radiactivo ocurre el 16 de enero de 1984 cuando un vehículo cargado con varias toneladas de varilla de acero para la construcción, manejado por un operador mexicano, no familiarizado con la red americana de carreteras, toma equivocadamente un camino que conduce al Laboratorio Nacional de los Álamos; a su paso, un detector de radiaciones situado en el camino se activa y genera una alarma en el laboratorio. El hecho produce confusión y al principio se interpreta la señal como asociada a un vehículo encargado de transportar isótopos para usarse en hospitales con fines médicos y se critica el hecho de que se utilicen en el camino sensores de tan alta sensibilidad. Consecutivamente, la fotografía tomada con una cámara Polaroid activada simultáneamente, identifica al vehículo de carga, procedente de territorio mexicano, como una "fuente caliente" emisora de radiación gamma inexplicablemente circulando en una carretera americana.

A partir de ese momento se aclara que a fines de 1983, la fuente radiactiva, almacenada en un centro médico de Ciudad Juárez fue desarmada en el piso de una camioneta, donde permaneció parte de su contenido radiactivo, mientras la casi totalidad fue vendida a un depósito de chatarra en unos 10 dólares. Consecutivamente dos compañías, una en Ciudad Juárez y otra en Chihuahua, adquieren y transportan para su fundición la chatarra mezclada con unas 6000 "municiones" radiactivas y en la fundición la transforman en unas seis mil toneladas de varillas reforzadas para la construcción y en unos soportes para mesas de restaurante para cumplir pedidos fincados en los Estados Unidos. Cerca de 500 toneladas de varilla y los soportes de mesa ingresan en vehículos de carga a territorio americano, mientras más de cinco mil toneladas de varilla radiactiva, circulan consecutivamente en carreteras de territorio nacional recorriendo y deteniéndose en algunos estados de la República antes de su destino en la construcción de casas y edificios, y almacenamiento en distintos lugares. Posteriormente, el estado de alarma da lugar a que en El Paso, Texas, los oficiales aduanales identifiquen otros cinco vehículos de carga contaminada enviados a los Estados Unidos, detenidos y regresados a territorio mexicano antes de alcanzar su destino. Se

averigua, que desde St. Louis Missouri, la firma Falcon Products embarca los soportes para mesas a 40 estados de la Unión Americana que de inmediato son localizados gracias a un esfuerzo de coordinación y devueltos a México.

La investigación consecutiva permite demostrar que la población radioexpuesta consiste en las personas que contribuyen a desarmar la bomba sobre el vehículo de transporte en el que se diseminaron sobre el piso algunos centenares de los 6010 microcilindros el 6 de diciembre de 1983, con el fin de vender su contenido como material de desecho; las personas que participaron en la fundición del material radiactivo, mezclado con la chatarra; en los empleados que laboraron en los depósitos de Ciudad Juárez y Chihuahua; en los transeúntes y personas que estuvieron en contacto con la camioneta que permaneció estacionada con su contenido radiactivo en diversos sitios de Ciudad Juárez y, finalmente, en los cientos de personas que de alguna manera en territorio mexicano, se acercaron al material transportado por las carreteras de México, depositado en diversos sitios en más de diez estados de la República o participando en la construcción de los inmuebles donde se utilizó la varilla radiactiva.

Se tiene noticia que cuando se descubrieron los vehículos que transportaban varilla radiactiva unas 200 personas habían recibido dosis significativas de radiación gamma; algunas dosis no menores de los 100 rem. Cabe advertir que los trabajadores que laboran rutinariamente en lugares donde existen fuentes de radiación se exponen a una dosis permisible hasta de 5 rem por año, denominada dosis ocupacional permisible. A la dosis permisible no ocupacional para la población en general se le asigna un valor por individuo o superior a 0.5 rem por año, procedente de fuentes artificiales construidas por el hombre, dosis insignificante con respecto a la recibida por las personas radioexpuestas en el accidente que directamente estuvieron en contacto con el desmantelamiento de la bomba o con la fundición del material radiactivo diseminado en la chatarra.

La investigación sobre la ruta de los vehículos en territorio mexicano y sobre el movimiento del material radiactivo, permitió rescatar en carreteras mexicanas unas 60 "píldoras" radiactivas, que se adherieron a las llantas de los vehículos que circularon en los depósitos de chatarra donde se diseminó la fuente de radiación.

Importa señalar que aunque el aparato de radioterapia se construyó en 1963, la fuente se recargó con Cobalto 60 antes de ser vendida al centro médico, en 1969, para equilibrar el decaimiento radiactivo considerando que la vida media del Cobalto 60 corresponde a 5 años tres meses. Cuando se reabasteció la fuente en 1969 su carga correspondía a una actividad de 2 885 curies. La actividad de la fuente

cuando se desmanteló en diciembre de 1983 mantenía una actividad correspondiente a 450 Curies.

En el número del 10. de mayo de 1984, en *The New York Times*, bajo el título "Reguero nuclear en tiraderos de Juárez como uno de los peores" (*Nuclear Spill at Juarez Looms As One of Worst*) se revisan los aspectos sobresalientes del accidente donde se publica una microfotografía parcial de una célula procedente de un cultivo de linfocitos de la sangre de una de las personas radioexpuestas, donde se advierte claramente la presencia de dos cromosomas dicéntricos. Esto significa que los cromosomas comprendidos en la anomalía estructural han sufrido fracturas en la fase llamada G_1 del ciclo de replicación del ADN, para permitir la unión anormal entre dos cromosomas submetacéntricos en un caso y un metacéntrico con un submetacéntrico en otro, lo que da lugar a una nueva estructura cromosómica en los linfocitos de ese individuo conteniendo dos centromeros en vez de uno.

Dicha anormalidad cromosómica se ha producido experimentalmente en múltiples ocasiones, bajo el efecto de la radiación ionizante, y se toma como indicio del daño biológico en una relación dosis efecto, donde esta clase de anomalías aparece en mayor porcentaje, como indicio del daño biológico en cuanto la dosis de radiación se incrementa.

Se afirma, que en términos del número de personas potencialmente expuestas, se podría considerar a éste como el más serio accidente de radiaciones en América de acuerdo con el experto Karl Hubner de Oak Ridge Associated Universities de Tennessee, a partir de las anomalías cromosómicas descubiertas en los linfocitos de diez pacientes examinados cuya sangre se sometió a cultivo en el laboratorio del doctor Hubner se puede conjeturar que algunas personas resultaron expuestas a dosis de 150 a 200 rad.

De acuerdo con la información examinada, se pueden utilizar algunos de los datos como apoyo a un enfoque preliminar para la evaluación de los parámetros dosis efecto en los que se debe basar una evaluación cuantitativa relativa a los efectos biológicos, somáticos y genéticos de las radiaciones sobre la población. Se deben considerar como efectos de la radiación aquellos que se traducen en la llamada enfermedad de radiación, donde se consideran efectos somáticos agudos y efectos crónicos, así como los efectos genéticos que implican incremento en los componentes de la carga genética de la población.

Aunque la información preliminar sobre la relación dosis efecto es poco precisa, esto no impide, sin embargo, agrupar algunos datos capaces de orientar el análisis consecutivo en una dirección que aspire a cierta exactitud con fines de beneficio para la población expuesta y para la salud pública en general.

El Pickup abandonado cerca de una escuela secundaria y un parque infantil, dio lecturas en febrero de 1984 de 1 a 7 miliroentgens por hora cuando aún no había sido sepultado en Ciudad Juárez, al otro lado del Río Grande en el Paso, Texas. La fuente desarmada, contenía 6 010 microcilindros metálicos, cada uno con una actividad correspondiente a 70 milicurios emitidos por el isótopo Cobalto 60. Se tiene presente que en la transmutación de los átomos de Cobalto 60 su esquema de desintegración es como sigue:

60 Co	vida media 5.3 años	niveles de energía
1. ^B 48 Mev Beta	^B 0.309 Mev Beta	segundo estado exitado del ⁶⁰ Ni
0.1%		
8 gamma	1.173 Mev	primer estado exitado del ⁶⁰ Ni
8 gamma	1.333 Mev	estado base del ⁶⁰ Ni ⁵⁸ Ni (n,j) ⁵⁸ Co

Esquema del decaimiento del ⁶⁰Co, a Niquel.

Esto significa que el Cobalto 60, contando con una vida media de 5 años 3 meses, emite radiaciones corpusculares beta y radiaciones electromagnéticas gamma de dos rangos, lo que permite la rápida identificación del isótopo utilizando el detector adecuado.

La primera diseminación de las píldoras radiactivas se produjo sobre el piso del vehículo; consecutivamente, las píldoras se diseminaron en el trayecto de éste hasta el depósito de chatarra y posteriormente en la fundición principal en Chihuahua. Se tiene presente que en las llantas de los vehículos que transitaron cercanamente al depósito se adherieron las píldoras no fundidas que se diseminaron sobre carreteras mexicanas.

Dos trabajadores mexicanos recibieron dosis muy altas de radiación local; uno alrededor de 10 000 rem sobre sus manos y otro la misma dosis sobre sus pies. El efecto biológico se tradujo en heridas sobre las manos y ampulas en los pies como síntomas de quemadura radiactiva. Cuatro trabajadores recibieron dosis de 300 a 450 rem consideradas como dosis de cuerpo completo. Algunos trabajadores mexicanos, resultaron expuestos a emanaciones gaseosas de Cobalto 60 durante la fundición. Las autoridades mexicanas recuperaron unas 60 píldoras radiactivas en la carretera.

En el depósito de chatarra denominado Jonke Fenix en Ciudad Juárez donde trabajaban más de 60 personas, el material contaminado permaneció durante un tiempo sin que se tomara ninguna medida de protección, como una amenaza para el personal y visitantes. El Pickup,

sobre el que se dismanteló la fuente fue objeto de diversos movimientos pero durante un lapso de semanas se mantuvo como una fuente "caliente", con gran actividad radiactiva en Ciudad Juárez, accesible a diversas personas emitiendo de 8 a 50 roentgens por hora a un metro de distancia. Las 500 o 600 toneladas de varilla, distribuidas en territorio mexicano, rápidamente fueron devueltas a México; una varilla entre las más activas, emitía radiación gamma correspondiente a 600 a 700 miliroentgens por hora de acuerdo con las mediciones de NRC.

Los soportes de mesa contaminados con Cobalto 60 para utilizarse en restaurantes, fueron localizados con rapidez y devueltos a México, sin causar daños, ya que no hubo personal expuesto y dado que sus actividades resultaron insignificantes.

Cuando el doctor Huber visitó el depósito de chatarra, Jonke Fenix, utilizando un Contador Geiger, pudo comprobar la existencia de un nivel radiactivo de 3 a 30 miliroentgen por hora en las cercanías del depósito (marzo, 1984). A partir del 2 de marzo se ofreció la colaboración espontánea de la *Pan American Health Organization* que es una rama de la Organización Mundial de la Salud, ofreciendo sus servicios y su intermediación para la evaluación y medidas conducentes. El depósito de chatarra fue clausurado el 20 de enero de 1984, unos días después que el detector de Los Álamos activó la alarma.

Los expertos y empleados de diversas oficinas de 50 estados de la Unión Americana se coordinaron para descubrir las pistas y los movimientos de los transportes en territorio americano para rescatar el material contaminado procedente de las fundiciones mexicanas, Aceros de Chihuahua como principal fundidora y Falcon de Ciudad Juárez.

Se considera que unas 700 de las 6 010 píldoras radiactivas se diseminaron sobre el piso del vehículo al dismantelar la fuente. Se considera también, que un número no bien determinado de personas tomó el vehículo estacionado como centro de reunión o lugar para sentarse a descansar, mientras cierto número de niños jugaban cerca del vehículo cada día en tanto permaneció estacionado en distintos lugares.

En la investigación se estableció que el material radiactivo que permaneció en el vehículo, correspondía a una actividad de unos 60 curies; cada "píldora", emitiendo una dosis de radiación de 25 rad por hora a dos pulgadas de distancia. Con respecto a los efectos de las diversas dosis sólo se ha hecho mención de algunos correspondientes a la radiación "aguda" y a las anomalías cromosómicas radioinducidas descubiertas en los cultivos de sangre de 10 personas situadas en los sitios críticos del accidente.

Como se puede advertir, el daño mayor debe investigarse en México, desde la fecha inicial del accidente hasta el momento actual. El hecho sobresaliente corresponde al tiempo transcurrido desde el ins-

tante en el que el dispositivo fue desmantelado. Se tiene conocimiento que el material contaminado circuló por carreteras mexicanas de diversas entidades federativas; que progresivamente, se tomaron medidas para sepultar la varilla en lugares adecuados lo que dio lugar a controversias y diferencias que retrasaron la deposición adecuada de estos desechos; que parte de este material o la casi totalidad ya se encontraba sepultado en enero de 1985.

De acuerdo con publicaciones no oficiales se estima que algunos centenares de toneladas de varilla contaminada aún permanecían expuestas a fines de 1984 en diversos sitios, manteniéndose el riesgo para la población (diversas noticias en la prensa nacional). Con justicia podría comentarse que la lentitud para aislar el material radiactivo en los cementerios o sitios convenientes resulta inconcebible, máxime si se toma en cuenta que los requerimientos de una localización adecuada, para un material contaminado con Cobalto 60 no resultan extraordinarios.

En efecto, considerando que la actividad radiactiva de las varillas se traduce en caso de actividad alta en unos 700 miliroengens y que la vida media del Cobalto 60 es sólo de 5.25 años, en comparación con otros isótopos cuya vida media se mide en millones o miles de años, no es difícil suponer que no resulte inaccesible preparar un cementerio en un lugar seco y desértico, donde el depósito se localice, metros arriba de los mantos freáticos y cubierto con una loza de concreto de la medida adecuada, considerando valores correspondientes a la llamada capa hemireductora que significa un espesor que reduce o absorbe la radiación por un factor de un medio.

Si el material radiactivo, o parte considerable de él, aún permanecía sin sepultar su decaimiento, más de un año después del accidente, es evidente que la atención se debe concentrar en las causas de la lentitud del manejo de dicho material y sobre todo en el diseño del programa adecuado que conduzca a localizar sin excepción individual a las personas radioexpuestas para la estimación del riesgo en términos de las dosis recibidas.

Por otra parte, sin soslayar la importancia de los daños materiales asociados sobre todo a la demolición de inmuebles contaminados, la atención se debe concentrar en el manejo del accidente en términos de la evaluación de los efectos a corto y a largo plazo sobre los individuos expuestos a las radiaciones.

Esto implica investigar los cambios previsibles en cuanto al incremento de las tasas de nacimientos comprendiendo aumentos en la incidencia de nacidos vivos afectados de rasgos hereditarios severos, producidos por genes simples, dominantes, recesivos, ligados al sexo y y por anomalías cromosómicas, así como malformaciones congénitas y defectos parcialmente hereditarios.

Considerando la lentitud en cuanto al manejo de la deposición de las varillas contaminadas, los efectos biológicos sobre la población expuesta ya no se pueden atribuir únicamente al momento crítico del accidente, que corresponde al desmantelamiento de la fuente de Cobalto y a la fundición del material, sino también a la exposición consecutiva de individuos y grupos de población con acceso a la varilla contaminada durante su desplazamiento que se ha prolongado por más de un año en carreteras y diversos sitios de diferentes estados de la República.

Considerando que durante el proceso de fundición de las "municipaciones" radiactivas mezcladas con volúmenes de miles de toneladas de metal la distribución de las mismas no puede resultar uniforme, es válido afirmar que la actividad del material contaminado debe variar extensamente de unas varillas a otras. También resulta muy amplio el rango en cuanto a la relación dosis-efecto, comprendiendo exposiciones insignificantes para algunos individuos, contrastando con exposiciones a dosis altas y de gran intensidad dentro del concepto de razón de dosis; es decir, la dosis y el tiempo de exposición.

De acuerdo con las mediciones efectuadas, algunos centenares de personas rebasan en uno o dos órdenes de magnitud las llamadas dosis permisibles, fijadas para la población expuesta por razones ocupacionales y no ocupacionales; alternativamente, un número no bien determinado de personas presentan el riesgo correspondiente a la exposición a dosis mínimas durante tiempos variables, breves y prolongados.

En tales circunstancias, aún suponiendo que precisamente en un brevísimo plazo toda la varilla aún no enterrada y todas las construcciones destinadas a casa habitación o para contener parcial o temporalmente grupos de personas, fueran sometidas a las medidas más drásticas consistentes en sepultar la varilla y en la demolición de las construcciones y el entierro de los componentes radiactivos, comprendidos en estas construcciones, debido al tiempo transcurrido, es inevitable aceptar que para la población expuesta existe un incremento real del riesgo asociado a los efectos tardíos de la irradiación.

Entre los efectos somáticos, se debe destacar un incremento considerable en la probabilidad para el número de muertes debidas al cáncer para los individuos expuestos. En cuanto a los efectos genéticos, también resulta inevitable predecir un incremento considerable en la aparición de mutaciones puntuales y aditivas en las células germinales que den lugar a la formación de gametos, óvulos y espermatozoides capaces de contener las mutaciones deletéreas que han de traducirse en mayor incidencia en el nacimiento de afectados de rasgos hereditarios dominantes, recesivos ligados al sexo, de anomalías cromosómicas y malformaciones congénitas.

Con fines ilustrativos, el Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los efectos de la radiación atómica UNSCEAR en su informe institulado *Sources and effects of ionizing radiation; United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1977 report to the General Asembly*, aporta la información exhaustiva y actualizada sobre los efectos biológicos y somáticos de las radiaciones.

En uno de los informes, en el capítulo relativo a los efectos, en cuya preparación tuve el honor de participar, se aportan estos datos generales.

Dominantes y ligados al sexo	1.0
Recesivos	0.1
Malformaciones congénitas, defectos multifactoriales irregularmente hereditarios	9.0
Total	10.1

Frecuencia de defectos hereditarios parcialmente hereditarios en cada cien nacidos vivos (UNSCEAR 1977).

Considerando únicamente estos datos, relativos a la incidencia en la población de recién nacidos afectados, es fácil advertir el significado de cualquier incremento generado por el efecto mutagénico de las radiaciones. Dicho incremento es previsible en la descendencia de los individuos víctimas del accidente en cuanto hayan sido expuestos encontrándose en la edad reproductiva.

Es muy importante aclarar que los potenciales efectos tardíos, especialmente los efectos genéticos fácilmente pueden ser ocultados o simplemente pasar inadvertidos. La ignorancia, en efecto, en ciertas circunstancias es un útil encubridor de la irresponsabilidad e incompetencia en el manejo de una sobreexposición masiva. Así, la aparición de ciertos defectos genéticos o malformaciones en la descendencia de las personas expuestas, puede dar lugar a una atención institucional de rutina, sin que en dicha atención se establezca una relación de causa a efecto en cuanto no se comparan la incidencia de los padecimientos hereditarios que se mantienen en la población mediante el mecanismo de la mutación recurrente y la incidencia que se debe a un incremento en las tasas de mutación por gameto y por generación causado por radiaciones, mutágenos físico o químicos comprendidos en la contaminación ambiental.

Sugestiones relativas a un enfoque prospectivo. En la actualidad existe un criterio universalmente compartido en el que se afirma que la desafortunada ocurrencia de accidentes debidos al desarrollo de la energía nuclear con fines pacíficos y a la aplicación de los isótopos radiactivos en la medicina, la agricultura y la industria, tendrán que incrementarse en las próximas décadas. Esto, por otra parte, no significa una aceptación indiferente de los efectos de la irradiación accidental; por el contrario, el hecho aceptado debe traducirse en un avance y un perfeccionamiento de la infraestructura necesaria para la aplicación adecuada de medidas de seguridad.

La ocurrencia del accidente de Ciudad Juárez requiere una atención especial y permanente que sólo puede lograrse mediante un esfuerzo coordinado que obedezca a un mandato procedente del más alto nivel. A manera de ejemplo se puede aludir a la experiencia del accidente en el reactor de Three Mile Island en Cleveland, que da lugar a la formación por mandato Presidencial de una comisión especial. Las conclusiones relativas a los efectos del accidente que obedecen a los términos del mandato quedan contenidos en el *Report of The President's Commission on the Accident at Three Mile Island* (Informe de la Comisión Presidencial sobre el Accidente de la Isla de las Tres Millas).

El Informe dirigido al presidente R. Reagan en la Casa Blanca a petición del mismo, está suscrito por los 12 miembros, incluyendo al señor Bruce Babbitt, gobernador del estado de Arizona.

En la parte introductoria del informe (*Report of the President's Commission on The Accident at Three Mile Island*), como prefacio se dice:

Con fecha 28 de marzo de 1979, los Estados Unidos sufrieron la experiencia del peor accidente de la historia de la generación comercial de la fuerza nuclear. Dos semanas más tarde, el Presidente de los Estados Unidos estableció una Comisión constituida por 12 miembros para dar cumplimiento al siguiente mandato:

El objeto de la comisión consiste en efectuar un estudio exhaustivo y una investigación sobre el reciente accidente que afectó a la planta nuclear de *Three Mile Island*, Pensylvania. El estudio debe comprender.

- (a) Una evaluación técnica de los sucesos y sus causas; esta evaluación debe incluir pero no se debe limitar a una apreciación del impacto actual y potencial sobre la salud pública y la seguridad y sobre la salud y la seguridad de los trabajadores.
- (b) Un análisis del papel de la organización gerencial a partir de la instalación de la planta.
- (c) Examen de la preparación para la emergencia y la respuesta de

- la Comisión Nuclear Reguladora (NRC) y otras autoridades estatales y federales.
- (d) Evaluación de las aplicaciones de las disposiciones de la Comisión Nuclear Reguladora, sobre las licencias, la inspección, la operación y la obligatoriedad de los procedimientos.
 - (e) Comprobar cómo se ejercieron los derechos del público a la información relativa al accidente, así como los pasos que se deberán tomar durante emergencias similares, para proporcionar al público la información más precisa, comprensible y oportuna, y
 - (f) Formular las recomendaciones apropiadas basadas sobre los hallazgos de la Comisión.

Se señala como información previa, que el accidente ocurrió a las 4 am del 28 de marzo de 1979, en la planta 2 de la Isla de las Tres Millas, cerca de Middletown, Pennsylvania. El accidente se inició como resultado de una falla mecánica en una válvula del sistema de enfriamiento de fácil solución; el efecto se agravó considerablemente por una combinación de errores humanos; carencia de preparación y adiestramiento del personal y falta de definición en cuanto a los técnicos asignados para tomar las decisiones. En el contenido del informe, se aportan todos los detalles aclaratorios en una revisión general de lo relativo al accidente. La investigación pone al descubierto que durante los cuatro días consecutivos, no se pudo evaluar con claridad el alcance y la gravedad del accidente a nivel de la gerencia de la planta, ni de los funcionarios estatales y federales y, por lo tanto, del público en general. Algo que sí resultó muy claro, es que el impacto nacional e internacional del accidente dio lugar a serias preocupaciones, sobre la seguridad de la generación de la energía nuclear. La comisión presidencial, se estableció, precisamente, como una respuesta a esta preocupación.

Como advertencia general sobre el texto, la Comisión fija los límites del contenido de su informe en cuanto a los aspectos que examinó o dejó de examinar, dando preferencia a la evaluación o falta de coordinación y la necesidad de precisar el significado de la falla mecánica en el funcionamiento de una válvula con respecto a los errores humanos; a los que finalmente, debe atribuirse la magnitud del accidente que se tradujo en un altísimo costo, estimado entre mil a dos mil millones de dólares en daños materiales.

Se hace referencia a este accidente y al informe de la Comisión, porque parte de su contenido resulta aplicable e ilustrativo con respecto al accidente de radiación en Ciudad Juárez.

Aunque existen notables diferencias entre ambos accidentes, derivadas del hecho de que en el caso de la Isla de las Tres Millas el acci-

dente se origina en una enorme planta nuclear, mientras en el de Ciudad Juárez en el desmantelamiento de una bomba de Cobalto 60, en ambos existen errores humanos, cuyo factor multiplicador se traduce en grandes pérdidas materiales, superiores a los mil millones de dólares en el accidente americano sin daños radiactivos a la población, en el de Ciudad Juárez existen daños materiales, cuyo costo tampoco resulta despreciable si tan sólo se considera la varilla desechada y daños para la población, cuya magnitud en términos de número de individuos radioexpuestos y dosis recibidas, aún no logra precisarse.

No obstante la localización precisa de la fuente, la determinación de su actividad correspondiente a los 1060 microcilindros radiactivos y a las dosis emitidas o distintas distancias, la ubicación en territorio nacional se caracteriza por una amplia y prolongada posibilidad de radioexposición a las radiaciones cuyas dosis varían de los cientos de rem a los milirem prolongándose el movimiento y la utilización parcial del material radiactivo por más de un año a partir de la fecha en que se fundió la fuente.

La gravedad y la trascendencia del accidente, originado en una fuente de radiación abierta, se derivan, fundamentalmente de la posibilidad de diseminación del material radiactivo y del acceso y contacto durante un tiempo determinado de los miembros de una población a dicha materia. En el caso del accidente americano, no obstante los errores señalados por la Comisión, las maniobras resultan eficaces para impedir el escape de isótopos radiactivos generados por la reacción en el núcleo del reactor; principalmente, de Iodo radiactivo, de tal manera que la irradiación resultó mínima aun para los trabajadores de la planta.

Por otra parte, en un accidente de radiación, en todo momento se debe tener presente, que a diferencia de lo que ocurre con otros contaminantes ambientales, o en otro tipo de accidentes, donde el organismo percibe el agente dañoso mediante los órganos de sus sentidos, lo característico de las radiaciones es que el organismo humano no está equipado con un sistema sensorial que le permita advertir la presencia de la radiación.

La exposición parcial o total del cuerpo, aún durante un tiempo prolongado a dosis bajas, no alarma al individuo ni tiende a desencadenar las acciones características de un estado de emergencia, como sucede en una explosión o en un escape de gases venenosos. Quizá esta consideración ayuda a explicar, en parte, la razón de que la información disponible no aporta respuestas consistentes con las preguntas básicas de contenido técnico: ¿Porqué una fuente abierta, localizada con precisión e identificada en sus características, puede permanecer en un vehículo estacionado, accesible a toda clase de personas incluyendo transeúntes y niños que juegan en su cercanía?

¿Porqué parte de la varilla contaminada, luego de diseminarse extensamente en el Territorio Nacional, aún permanece a la interperie o integrada a construcciones a un año de distancia, mientras persisten controversias sobre su deposición?

El planteamiento de estas dos preguntas, conduce, implícitamente a un planteamiento adecuado del problema, en términos de la estimación del riesgo de la población expuesta.

Considerando que ya en los primeros meses, se descubrieron en algunos individuos, síntomas y alteraciones correspondientes a los efectos de la radiación en cuanto las dosis absorbidas fueron superiores a los 100 rem; lo que procedería es considerar la estimación del riesgo asociado a la exposición crónica o aguda a bajas dosis con efectos biológicos a largo plazo. Es decir, en términos de efectos somáticos y genéticos de las radiaciones; principalmente, como incremento en la incidencia del cáncer e incremento en la incidencia de nacidos afectados con disturbios hereditarios monogénicos y multifactoriales, así como malformaciones congénitas.

Más adelante, con apoyo en las consideraciones necesarias se aportarán conclusiones y recomendaciones que conduzcan al establecimiento de un programa adecuado capaz de afrontar los efectos de este accidente tomando como base el tamaño de la población expuesta, así como las evaluaciones previas sobre la relación dosis-efecto, construyendo las hipótesis cuantitativas correspondientes a distintos rangos para implementar medidas de protección radiológica.

Se debe tener en cuenta, que en nuestro país, existen diversas instituciones y órganos gubernamentales que desde la iniciación del accidente absorben entre sus funciones los efectos de la contaminación sobre la salud humana o la protección de la salud de los afectados, la evaluación de los daños y la aplicación de las medidas preventivas necesarias para la disminución de los riesgos de exposición; se orientan; para este fin, las maniobras ejercidas para recuperar, los desechos radiactivos de la fuente de Cobalto y confinar la varilla radiactiva para su deposición en cementerios adecuados.

Se debe insistir en que, debido a que se trata de efectos a largo plazo, producidos por dosis bajas de radiación entre la población radioexpuesta, apenas algunos individuos pudieron percatarse de los efectos biológicos de las radiaciones sobre su organismo, en términos de sintomatología clínica perceptible.

Asimismo, se debe insistir en que dichos efectos tardíos sólo se pueden registrar en términos estadísticos; es decir como incremento en la incidencia de casos de cáncer y defectos hereditarios en la población expuesta.

Esto conduce a que ante el hecho de que la población radioexpuesta resulte posteriormente incapaz de establecer una relación causa a

efecto entre el accidente y las alteraciones somáticas o genéticas, esto puede propiciar una política de "olvido" circunstancial, que soslaye no sólo reparación de daños, sino que impida además, diagnósticos tempranos y diagnósticos de parejas en riesgos, facilitando la aplicación del consejo genético, para frenar incrementos en la fertilidad, que se asocien a la proliferación de las mutaciones radioinducidas en las familias de los afectados.

Considerando la enseñanza que se puede derivar del accidente de la Planta 2 de la Isla de las Tres Millas, procede resumir algunos de los puntos señalados en el prefacio y en la revisión general que comprende conclusiones y recomendaciones importantes sobre el accidente.

La Comisión encargada de cumplir con el mandato Presidencial en los Estados Unidos, examinó con gran cuidado la secuencia de los sucesos que caracterizaron al accidente para determinar que sucedió y porqué.

El enfoque se concentró sobre todo, en investigar fallas en las instalaciones y errores humanos, así como la evaluación cuantitativa de la liberación de radiaciones y sus efectos sobre la salud de los trabajadores de la planta y personas expuestas.

Quedó establecido, en principio, que el factor que agravó considerablemente el accidente, se debió a las acciones inapropiadas de quienes estaban a cargo de la operación de la planta, así como los supervisores de su operación; ésta condujo, a su vez, a investigar con mayor detalle, el valor de los programas de entrenamiento utilizados para los operadores, así como los procedimientos de su aplicación. Los miembros de la Comisión examinaron los planes previos de emergencia así como la ingerencia en los mismos de las dependencias gubernamentales con el fin de proponer recomendaciones adecuadas en previsión de otros accidentes similares. La Comisión examinó cuidadosamente como se cumplió con el derecho del pueblo a contar con una información oportuna y precisa sobre el accidente y finalmente, la Comisión dedicó un especial cuidado a examinar el comportamiento de las dependencias directamente asignadas a vigilar la utilización pacífica de la energía nuclear, y la protección de los trabajadores asociados a las aplicaciones de la energía nuclear y a la protección de la salud de la población en general; concretamente, sus mayores esfuerzos se concentraron en la llamada Comisión Nuclear Reguladora: *Nuclear Regulatory Commission* (NRC), tratando de entender su compleja estructura, el cumplimiento de sus funciones y su papel relativo a los programas de inspección, respuesta a situaciones de emergencia y supervisión sobre programas de entrenamiento y extensión de licencias de operación.

En todo caso, el propósito fundamental consistió en extender recomendaciones sobre reordenación y medidas preventivas de seguridad

para evitar que estos accidentes se repitan ya que en el caso del accidente de la Planta 2 de la Isla de las Tres Millas, la población no fue expuesta a las radiaciones salvo algunos trabajadores que sufrieron o sufrirán los efectos de la exposición a una dosis hasta de 100 milirem, es decir, a sólo un décimo de la exposición de algunas víctimas del accidente de Ciudad Juárez.

La Comisión tuvo presente, que en los Estados Unidos existen 72 reactores en operación en este momento, con una capacidad de producción de 52 000 megavatíos de energía eléctrica, y que ya está autorizada la construcción de otras 92 plantas que van a triplicar la capacidad nucleoelectrica en los Estados Unidos. Ello representa una fracción significativa de la capacidad de generación total de energía eléctrica que es de 600 000 megavatíos.

Conclusiones de la Comisión Presidencial sobre el accidente de la planta de TMI

Sin intentar resumir las detalladas y numerosas conclusiones se pueden destacar las que contienen las mayores generalizaciones. La primera conclusión establece que: "Para prevenir accidentes nucleares tan serios como el de la Isla de las Tres Millas", se deben ejercer cambios fundamentales en la organización, los procedimientos y las prácticas y sobre todo, en la actitud de la Comisión Nuclear Reguladora, así como a las instituciones más cercanamente relacionadas con la energía nuclear.

Se concluye que, aunque el accidente se inició como una falla mecánica o de equipo, el factor más importante que convirtió este incidente en un accidente serio, se adjudica a las acciones no apropiadas ejercidas para resolverlo; tales como deficiencias en entrenamiento del personal, falta de claridad en los procedimientos operatorios, fallas en la organización e ineficiencias en los diseños de la sala de control.

Con respecto a la severidad del accidente, la Comisión estableció sus principales conclusiones en los siguientes términos:

A pesar del gran daño que el accidente produjo a la planta en términos de pérdidas materiales, estimadas entre mil y dos mil millones de dólares, el escape de radiación se pudo detener sin que se presentaran efectos sobre el organismo de quienes se encontraban desempeñando sus funciones en la operación de la planta ni aun los más cercanos al accidente.

"La cantidad de radiación recibida por cualquier individuo fuera de la planta resultó despreciable". De cualquier manera, la Comisión no descarta la exposición a dosis mínimas ya que no ignora que "aun

niveles bajos de radiación pueden resultar en el desarrollo tardío de cáncer o en la aparición de efectos genéticos o malformaciones congénitas en niños de madres expuestas durante el embarazo”

Textualmente: *“However, even low levels of radiation may result in the later development of cancer, genetic defects or birth defects among children who are exposed in the womb”*.

Los cálculos conducentes a la estimación del riesgo en este accidente, permitieron descartar un efecto de incremento en la incidencia de cáncer en la población de dos millones de habitantes localizada en el área y elimina; asimismo, un incremento directo en los efectos genéticos asociados al accidente.

La mayor consecuencia del accidente de la planta en la Isla de las Tres Millas se asigna a la tensión emocional que resultó dramática para la población y para los trabajadores de la planta, derivada de la confusión en el manejo de la emergencia y en las noticias imprecisas proporcionadas al público con una incertidumbre sobre la necesidad de evacuar o no el área afectada.

El informe es muy preciso y revisa en detalle todos los factores humanos que se conjugaron para dar lugar a que una falla mecánica se multiplicara hasta dejar inutilizable una gran instalación, comprendiendo, durante las maniobras para atender la emergencia, la constante amenaza de que se produjeran grandes escapes de isótopos radiactivos; especialmente de Iodo radiactivo, con el riesgo de convertirse en un accidente de irradiación masiva.

La lectura detallada del informe de referencia, meticulosamente preparado y con el respaldo de numerosos expertos internacionalmente reconocidos, no sólo contiene el material solicitado por un mandato presidencial, sino ilustra, sobre las dificultades casi insuperables y no previstas que implica el manejo de un accidente de esta naturaleza en una gran planta nuclear.

Aunque el informe es particularmente crítico, la posición adoptada, parte de la hipótesis de que debieron existir condiciones óptimas tanto en el funcionamiento del equipo como en el manejo de la emergencia a tal grado que el accidente no debería ocurrir jamás.

El informe, cubre, prácticamente, todos los aspectos capaces de generar preguntas, dudas o incertidumbre, sobre las posibilidades de asegurar el funcionamiento de una planta nuclear; implícitamente, se puede suponer que las condiciones óptimas difíciles de satisfacer en los Estados Unidos, no se pueden garantizar en áreas menos desarrolladas a menos que se extreme la actitud conducente al fortalecimiento, no sólo de la infraestructura técnica, sino de la adecuada preparación de los recursos humanos que a todos los niveles y especialmente dentro de las dependencias oficiales, donde se toman las decisiones, aún se mantienen a gran distancia del conocimiento de los

efectos biológicos de las radiaciones y por lo tanto de los alcances y las consecuencias de los accidentes.

Conclusiones y recomendaciones

El accidente de Ciudad Juárez, originado en el desmantelamiento por manos ignorantes de una fuente de Cobalto 60, para obtener como resultado de su venta una ganancia trivial observa un factor multiplicador, que no se relaciona directamente con la actividad de la fuente radiactiva sino con una serie de instancias donde convergen toda clase de aspectos no radiactivos que impiden un rescate instantáneo del contenido de la fuente y una deposición oportuna de la varilla contaminada. Parte de ella utilizada en construcciones, parte, sujeta a toda clase de desplazamiento dentro del sistema de carreteras nacionales hasta distribuirse en numerosos estados de la República, mientras paulatinamente, quedo confinada en lugares alejados de la población y sepultada en un cementerio de desechos radiactivos en el Estado de México.

El accidente de Ciudad Juárez, no es el accidente del reactor de la Isla de las Tres Millas; sin embargo, lo supera hasta el momento en cuanto a la radiación en término de dosis efecto y en cuanto al número de personas expuestas a un amplio rango de dosis. En el accidente americano, prácticamente ya están descartados los efectos a largo plazo en términos de mutación para los correspondientes genes responsables de padecimientos hereditarios y malformaciones congénitas de origen genético; en el accidente de Ciudad Juárez tales efectos no se pueden descartar sino predecir, aun cuando no existen dictámenes ni conclusiones precisas sobre la estimación del riesgo.

Sugestiones

Como un punto de vista personal, debo insistir, en que no obstante la gravedad del accidente, originado sobre todo en el tiempo transcurrido para la deposición del material radiactivo, que amplió las posibilidades de la radioexposición; es evidente que con apoyo en la experiencia del manejo del mismo comprendiendo errores, imprevisiones o bien obstáculos diversos derivados de faltas de coordinación, deficiencias de equipo o subutilización de recursos humanos disponibles en el país, aun sería posible diseñar un programa adecuado relativo al riesgo potencial sobre los efectos biológicos de las radiaciones en los individuos expuestos, así como dar oportunidad para el aprendizaje, el adiestramiento y la preparación técnica de graduados en dis-

tintas especialidades científicas. Los conocimientos adquiridos y la experiencia servirán de base para establecer en el futuro, las medidas adecuadas para enfrentar los inevitables accidentes que puedan surgir por el desarrollo en nuestro país, de los usos pacíficos de la energía nuclear en la industria, la agricultura, la medicina y sobre todo en la generación de energía nuclear eléctrica al entrar en operación las plantas nucleares en construcción y las previstas.

En el programa propuesto se deben considerar:

1. Empezar y coordinar acciones destinadas a prevenir y tratar los daños generados por la contaminación de la población expuesta a corto mediano y largo plazo.
2. Estimular la enseñanza y la divulgación científica, relativa a los efectos somáticos y genéticos de la contaminación producida por radiaciones de fuentes artificiales y naturales, de la contaminación ambiental en general, sobre grupos de población y sobre la salud individual.

Desde el punto de vista genético, estimular, intensificar y aún patrocinar investigaciones sobre la carga genética de la población; generalizar y precisar conocimientos e investigaciones sobre agentes mutágenos, carcinógenos y teratógenos como componentes de la contaminación, generados en el desarrollo industrial y en el desarrollo agrícola que afectan sobre todo a la población indígena de México. Introducir y precisar métodos relativos a la estimación del riesgo y las dosis permisibles asociados a cambios en las tasas de mutación y coeficientes de selección para genes simples, genes aditivos o cambios cromosómicos responsables de padecimientos hereditarios.

3. Afrontar y coordinar acciones destinadas a la elaboración de proyectos de ley reglamentos e instrumentos legales sobre la materia, para que sin perjuicio del desarrollo del país, de la producción, de la actividad comercial, se regule el comportamiento de empresas e instituciones para que en beneficio de la población del ambiente natural y de la productividad se anulen o minimicen los efectos biológicos somáticos y genéticos actuales, acumulativos o potenciales que afecten a la población mexicana.

REFERENCIAS

Darwing, C. R.

1859

The Origin of Species by means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races and the Struggle for Life, London, John Murray, Albemarle, St.

de Garay, A. L.

1974 *Genética de la Evolución; Aspectos Cuantitativos*, Universidad Nacional Autónoma de México.

Muller, H. J.

1950 "Our Load of Mutations", *Am. J. Human Genet.*; 2: 111-176.

Wallace, B.

1970 *Genetic Load, its Biological and Conceptual Aspects*, Prentice-Hall, Inc.

UNSCEAR

1977 *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly. United Nations Publication, Sales no. E. 77. IX, 1.

198 Report of The President's Commission on the Accident at Three Mile Island.

Revistas y publicaciones de divulgación

Blakeslee S

1984 May-1 "Nuclear Spill at Juarez Looms As One of Worst", *The New York Times*. P. C1.

McKean, K.

1984 July. "A radioactive spill in Mexico endangers hundreds of people and irradiates steel shipped as far away Chicago", *Discover*, 5:34-42, Deadly Incident in Juarez.

Smith, R. J.

1984 March-16 "Juarez: An Unprecedented Radiation Accident", *Science*, 223: 1152-1154.

Stengel, R.

1984 May-14. "Aftermath of a Nuclear Spill", *Time*: 34.