

Factores ambientales generadores de radicales libres y factores clínico-sanitarios y ocupacionales de riesgo de irradiaciones: prevención y protección.

A. Zollo, F. M. Furno, G. Grandola, M. Totàro y E. Aloj

Cattedra di Ecologia. Facoltà di Economia. Università degli Studi del Sannio. Via Calandra. Benevento. Italia. Tel. 082461365. Fax. 082461365. E-mail: ecolab@inwind.it

INTRODUCCIÓN

El estudio del ambiente y de las relaciones que se establecen entre los seres vivos y el marco ambiental, así como las interrelaciones ambientales que se producen, condicionando el estado de salud (bienestar físico, psicológico y social) son los presupuestos esenciales para una acción real de búsqueda ambiental, resultado de una correcta interpretación biológica de las problemáticas conexas a la salvaguardia de la salud.

No es posible, por lo tanto, hablar de intervenciones de prevención, recuperación, acción educadora de la comunidad social, escuela, o familia, sin antes difundir capilarmente los contenidos socio-culturales de la búsqueda ambiental en estos sectores. Para que se colabore en la obra de difusión de las normas que conducen la búsqueda ambiental en función de una correcta relación hombre/ambiente, y para elaborar nuevos contenidos culturales que puedan ampliar y ahondar los temas relacionados con la protección de la salud, es importante y justo injerir, entre las propuestas de búsqueda ambiental, las problemáticas relativas a la relación ambiente y territorio.

El genoma, o sea el complejo de genes presentes en todas las células, determina, a través de mecanismos conocidos, la manifestación de los varios caracteres morfológicos, fisiológicos y de comportamiento de los organismos. Estos caracteres, en conjunto, constituyen el fenotipo. La expresión de tales caracteres, como bien sabemos, está condicionada por el ambiente en el que vive el sujeto. Desde estas consideraciones se entiende cómo el ambiente se pone en el centro de las problemáticas relativas a la vida y a la evolución de cada especie, y en particular esto es válido para la especie humana,

por las relaciones socio-territoriales presentes en los distintos hábitat colonizados por el hombre. Considerando el estado de salud de un individuo como el resultado de las interferencias de los diversos caracteres anatómicos, fisiológicos y comportamentales del sujeto, a la luz de lo que hemos expuesto anteriormente, también debe evaluarse el grado de adaptación de estos al ambiente.

El ambiente influencia el desarrollo del individuo desde el momento de la concepción. Alteraciones de este desarrollo pueden expresarse en forma de daños congénitos tales como, por ejemplo, teratogénesis o mutaciones que conducen a determinadas enfermedades genéticas.

Después del nacimiento, otros componentes ambientales pueden determinar varias formas patológicas; los factores físicos, químicos, vitales, las carencias alimentarias, los efectos de los contaminantes, o el abuso de fármacos representan, en efecto, son los más comunes responsables del origen de estados patológicos. Las enfermedades genéticas presentan entre los factores de inducción, numerosas características ambientales, o sea, factores mutágenos entre los componentes contaminantes (Fig. 1 y 2), extremadamente importantes en la prevención de la calidad de la vida. Por ecosistema se entiende, como sabemos, una continua relación entre organismos y medio ambiente entre los cuales se establecen cambios de materia y de energía. Esto significa que un flujo continuo de materia y de energía caracteriza el ecosistema; en términos socio-ambientales este problema pertenece, por lo tanto, a las recíprocas relaciones, de carácter alimentario y de carácter energético.

El ser humano se encuentra en el vértice de la pirámide alimentaria; la correcta gestión de los recursos es el punto fundamental de la estrategia de

sobrevivencia y de bienestar de la especie humana mirando en clave ecológica y no de consumo. Para el ser humano, alterar el equilibrio biológico significa comprometer la posibilidad de supervivencia, deteriorar el sentido de calidad de la vida. Por lo tanto el prestigio cultural de la especie humana puede ser

revalorizado solo con la conciencia de la importancia de resolver realmente las problemáticas ambientales. Esta posición, incluso tardía, puede y debe constituir el punto de inicio para construir una protección del *bien salud* que es el objetivo primario en la ética de cada sociedad civil.

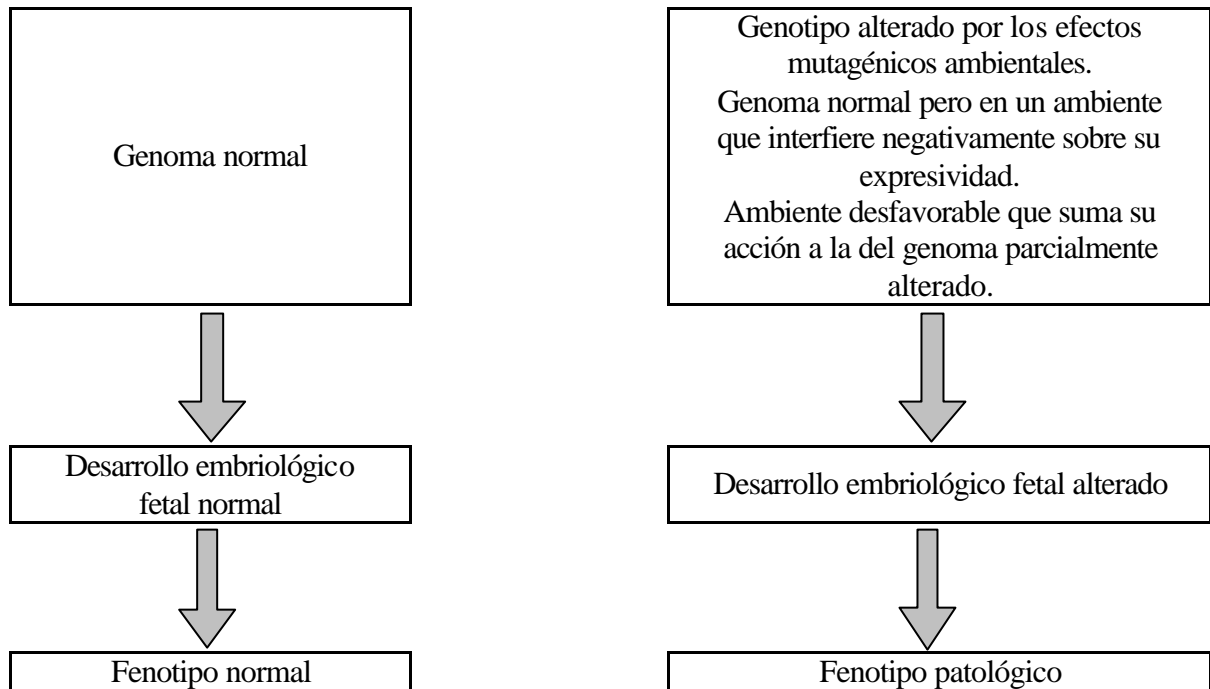


FIGURA 1

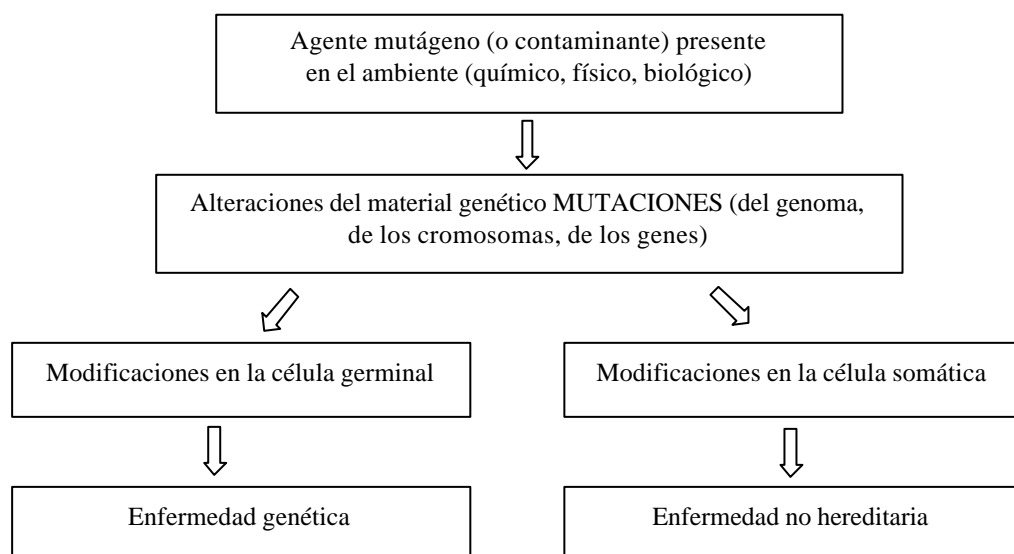


FIGURA 2

Desde los resultados de la búsqueda interdisciplinar orientada a la patología ambiental y a la ecotoxicología, la actividad de la educación ambiental puede representar el necesario *análisis del territorio*.

¿Cómo se puede afrontar un discurso sobre las relaciones entre ambiente y salud?. ¿Qué metodologías se adoptan para evidenciar sintéticamente las relaciones entre la degradación y las manifestaciones patológicas?. Está claro que el discurso de búsqueda no es sencillo. En efecto, será posible afrontar en clave rigurosamente científica la problemática de algunos aspectos de la patología ambiental solo si antes se han adquirido con claridad los conceptos y las nociones básicas de la ecología aplicada y de la ecotoxicología. Esta búsqueda se puede efectuar con un relieve territorial, cuyos resultados se deben elaborar en gráficos y prospectos de la situación, que puedan constituir un papel de estímulo para las autoridades.

A esta verificación de la situación ambiental y sociosanitaria del territorio se deberá adjuntar una completa investigación, realizada a través de la elaboración de cuestionarios, orientada a la determi-

nación de parámetros específicos de la relación entre ambiente y salud en una muestra de ciudadanos. Algunos de estos cuestionarios pueden verificar los estilos de vida de aquellos que son objeto de la investigación típica de las instalaciones urbanas en examen. La evaluación de tales cuestionarios, en terminos estadísticos, puede permitir llegar a las condiciones de salud ambiental y sociosanitaria de la zona examinada, gracias a la definición de algunas conductas que caracterizan a los individuos que constituyen la muestra. Por lo tanto, esto puede constituir un ejemplo peculiar de la posible relación recíproca que los ciudadanos han establecido con el ambiente natural centro del habitat, y además, de las conductas que han determinado algunas modificaciones y alteraciones ambientales. Al mismo tiempo pondrá en evidencia las influencias que el ambiente ha determinado sobre las condiciones de vida y/o de salud de los mismos ciudadanos. Este tipo de trabajo *experimental* se debe realizar simultáneamente con un discurso *preventivo* de tipo multidisciplinar, después de un trabajo teórico de sensibilización ecológica y sanitaria (Fig. 3 y 4).

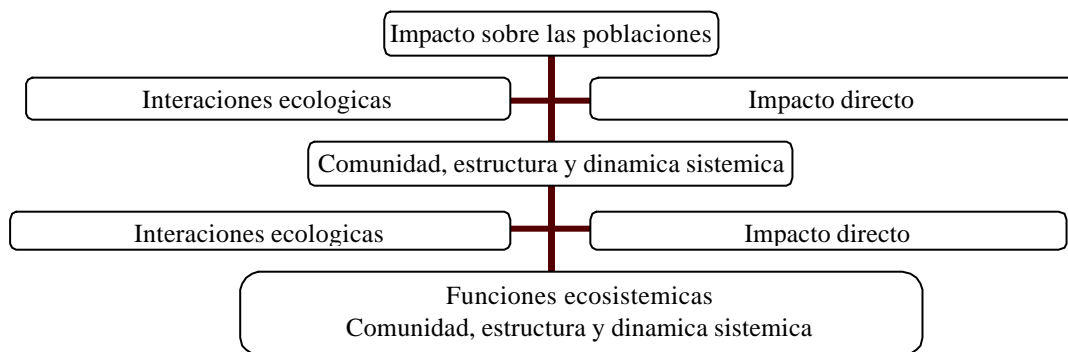


FIGURA 3

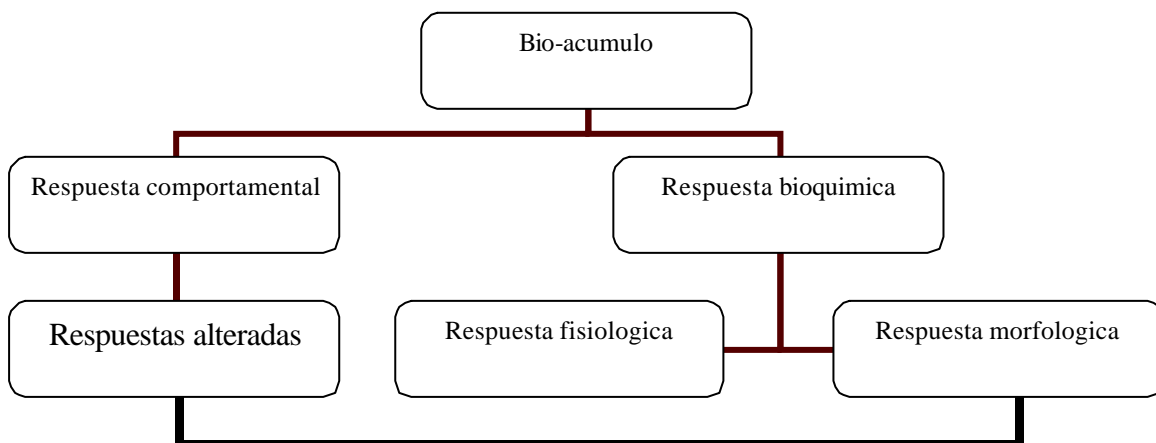


FIGURA 4

METODOLOGÍA

Entre las formas más peligrosas de contaminación se deben considerar las radiaciones. Este tipo de contaminación ambiental afecta al suelo y a las aguas, y manifiesta sus efectos a corto plazo, así como a largo plazo después de muchas generaciones. Por lo tanto, el daño que provoca es mayor, porque concierne a las generaciones futuras, víctimas en esta manera, de una gestión irracional de los recursos ambientales en este tiempo. Los responsables de la contaminación son las actividades radioactivas. Éstas no están conectadas como se puede pensar, sólo a los hechos bélicos o a particulares estrategias militares de las grandes potencias. En realidad, la posibilidad más concreta de difusión de contaminantes radioactivos está conectada a la búsqueda de nuevas fuentes de energía, y en particular, a la utilización de la energía nuclear. Graves problemas están conectados a la selección energética dirigida a la energía nuclear: el problema de eliminación de las escorias radioactivas y algunos eventos (aunque sean raros, pero no imposibles) como el escape de radiaciones.

Esto podría hacer inhabitable un gran territorio para muchos años y los efectos de la contaminación atómica se manifestarían con la muerte inmediata de los ciudadanos que viven allí y con la condena de los individuos afectados a gravísimas condiciones patológicas (tipologías de cáncer inducidas por exposición a las radiaciones), y a gravísimas deformidades genéticas para los descendientes. Los eventos tristísimos que siguieron a las primeras explosiones de bombas atómicas en Japón son la prueba del peligro conexo a la emisión de radiaciones.

Así como para las otras maneras de contaminación, también para la radioactiva es posible adoptar medidas de prevención, no sólo contra la contaminación radioactiva nuclear. Tenemos que pensar en la difusión excesiva de radioterapias y de radiodiagnóstico médicas que utilizan metodologías en las que se utilizan radiaciones. Es necesario proteger el ambiente de la contaminación radioactiva imponiendo una protección sanitaria para las radiaciones ionizantes, o sea, para aquellas radiaciones que provocan daños en la salud del ser humano, porque se afectan las células que constituyen los tejidos de los órganos del organismo, y alteran las funciones vitales y la expresión genética de éstos. Entonces los daños y los riesgos biológicos que derivan pueden ser de varias formas y la I.C.R.P. (Comisión Internacional de Protección Radiológica) recomienda por esto no exponerse a radiaciones si no es por motivos médicos absolutamente necesarios.

Las radiaciones ionizan la materia, es decir, provocan la separación de un electrón desde la órbita periférica de un átomo. Éste, perdiendo el electrón, se convierte en ion positivo. El electrón expulsado, entrando en colisión con otros electrones, provoca

otras ionizaciones, perdiendo energía por cada choque, hasta que no es asimilado por un átomo neutro o por uno ion positivo.

Las radiaciones ionizantes están básicamente representadas por las radiaciones no corpusculares electromagnéticas: rayos X y gamma (γ), y por las corpusculares: alfa (α), beta (β), neutrones y núcleos pesados. Las radiaciones generadas por las reacciones nucleares determinan efectos nocivos sobre las estructuras celulares, resultando particularmente peligrosas para sujetos expuestos profesionalmente (personal sanitario, encargados de la extracción y elaboración de minerales radioactivos).

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas de longitud de onda corta, producidas cuando los electrones a alta velocidad encuentran un electrodo de metal, experimentando una improvisada deceleración. Los rayos γ en cambio son fotones en estado fundamental. Las radiaciones α son radiaciones corpusculares (núcleos de helio), emitidas en la desintegración espontánea de isótopos pesados. Las β están constituidas, en fin, por partículas (electrones) producidas de un núcleo inestable en el que el exceso de neutrones experimenta la transformación espontánea de los protones.

La contaminación debida a radiaciones ionizantes esta conectada a fenómenos tales como explosiones atómicas, contaminaciones de la cadena alimentaria, y por la utilización de esta energía con fines diagnósticos y terapéuticos (exámenes radiológicos y utilización de métodos diagnósticos mediante imágenes en general, radioterapias, etc.).

Las consecuencias químicas y biológicas de este tipo de radiaciones son importantes y conducen a la manifestación de efectos inmediatos y efectos tardíos. Los efectos inmediatos están caracterizados por las alteraciones de las membranas celulares, la formación de radicales libres, la oxidación de las proteínas de membrana y de enzimas. Los efectos tardíos son aquellos que influyen en el DNA, y como consecuencia llevan a la formación de fragmentos *non sense* y a un retraso de la mitosis.

El síndrome de irradiación aguda generalizada representa la patología más grave, excepcional, causada por las radiaciones ionizantes.

Para determinadas actividades profesionales (ortopédicos, radiólogos, técnicos), la exposición repetida en el tiempo en pequeñas dosis tiene el carácter de verdadera enfermedad profesional. Las lesiones más representativas corresponden a la dermatitis (radiodermatitis necrotizante), a las mucosas (cáncer pulmonar) y a las gónadas (reducción o ausencia de espermatogénesis). Además existe un riesgo de daño al sistema hematopoyético a corto y a largo plazo (leucemia). En lo referente a los efectos sobre el aparato visual humano, la catarata representa, sin duda, la manifestación más importante y bien definida.

Entre las sustancias radioactivas que se deben tener bajo control se debe considerar el radón,

el gas radioactivo que se forma en la desintegración del radio. Éste se desintegra generando una serie de radionúclidos inestables (polonio, plomo, bismuto), dotados de baja tensión de vapor, así que se encuentran como partículas sólidas suspendidas. En la naturaleza, el gas radón está emitido por el suelo y las rocas volcánicas, especialmente lava y tufo. Las mayores concentraciones se encuentran en el interior de los edificios que se construyen sobre suelos de origen volcánico y en los edificios construidos con piedra de tufo (*contaminación indoor*). El agua que proviene de fuentes de origen volcánico también puede representar una fuente de contaminación.

Por lo tanto el hogar doméstico ha devenido un lugar lleno de peligros para nuestra salud. Podríamos justamente hablar de *casa contaminada* o en términos más correctos de *contaminación indoor*, ampliando la investigación a todos los ambientes cerrados, habitables y a los lugares de trabajo. En particular, sin negar a la industria las ventajas conexas a una mejoría generalizada de los estándares de vida y de los niveles cuantitativos y de calidad del confort, no se pueden olvidar los graves problemas de contaminación causados por los procesos de la industria química al servicio de la agricultura, de la cosmética, de la alimentación, de la tecnología, del desarrollo económico a menudo exasperado por la lógica del consumismo.

La contaminación por radón es en forma silenciosa, aunque sea muy difundida en todos los países del área mediterránea, y en particular de aquellos del sur de Italia por la particular composición geomineralógica de los materiales, y puede desencadenar efectos terribles sobre la salud humana.

Focalizar este problema y recordar a los órganos administrativos la responsabilidad de la necesidad de un *screening* difundido de las potenciales fuentes de contaminación indoor de radón, representa una indicación responsable de prevención en el ámbito de una correcta política del territorio en función de la tutela del ambiente y de la salud. Hablar de contaminación de radiaciones significa individualizar las posibles fuentes de emisión naturales o artificiales que afecten el ser humano. Entre éstas tienen particular importancia los materiales de construcción, sobre todo en los territorios del sur de Italia donde se encuentra el granito.

Incluso si las emanaciones de radón tienen baja radioactividad en función de la tasa de mortalidad, su particularidad deriva de la naturaleza de las emanaciones, los tiempos de exposición de los sujetos son muy altos y están presentes junto a otros factores de riesgo creando muy dañinos fenómenos de sinergismo.

El radón entra en las habitaciones y llega a los sujetos que permanecen en su interior durante muchas horas. Los mecanismos biológicos por los que se produce el daño celular pueden afectar a las

células somáticas y germinales; además, la exposición a las radiaciones de radón afectan a los tejidos blandos del sistema respiratorio.

El daño ambiental para la salud del ser humano constituido por las emanaciones de radón se explica a nivel celular con la liberación de radiaciones capaces de activar radicales libres, especies químicas altamente reactivas que pueden determinar alteraciones metabólicas a nivel del genoma y a nivel de la membrana celular.

Los riesgos para el ser humano están conectados básicamente a la posibilidad de que el radón se una a las moléculas. Esto tiene un efecto cancerígeno por contacto. Los posibles efectos nocivos, causados por el radón sobre el aparato visual, se pueden relacionar con los efectos de las radiaciones ionizantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si mejorar las defensas de la salud y crear adecuados instrumentos de prevención y cura de las enfermedades es un derecho-deber de cada ciudadano, de todos modos es necesario que el esfuerzo político, el empeño técnico y financiero de un país sean dirigidos al mismo objetivo individual por comunión de intereses y compartido por concepción cultural.

En efecto el estado de los condicionamientos y de las estructuras sociales se consideran siempre más como elementos determinantes de una enfermedad, por lo tanto la situación de ausencia de enfermedad significa corregir las causas originarias del malestar, interpretando las necesidades sanitarias de las poblaciones o previniendo con hipótesis, propuestas e intervenciones, la demanda de las poblaciones para obtener una mejor calidad de vida.

Las transformaciones socio-económicas están entre las causas del empeoramiento de la condición de vida y de salud del ciudadano. Se puede hablar entonces de sociogénesis de la enfermedad. Por esto una enfermedad se analiza desde un punto de vista socio-ambiental en el origen de la enfermedad; a las causas claras en la relación entre condiciones ambientales y desarrollo físico y psíquico del niño; además, a las enfermedades profesionales conexas a particulares ambientes de trabajo; a la falta de estructuras de protección indispensables para algunos procedimientos industriales; a la degradación ambiental extendida en algunas regiones.

No siempre la respuesta ambiental o las capacidades homeostáticas de los diferentes organismos son capaces de anular o mitigar los daños causados.

Es necesario reconocer todos los principales agentes contaminantes, a través de un análisis físico-químico, pero sobre todo se deben considerar las posibilidades de prevención y de descontaminación de los lugares, como la excesiva acumulación que dificulta el alejamiento.

Fenómenos propios de nuestro tiempo, como el aumento del grado de antropización y el crecimiento del desarrollo tecnológico han contribuido a la alteración del equilibrio ecológico, generando una distribución no homogénea de las poblaciones y de los recursos en algunas áreas del planeta. Además, la particular condición cultural del ser humano, no siempre en condiciones de gestionar correctamente la dinámica ambiental en función de las actividades a éste conectadas (mala gestión de los residuos, producción industrial, explotación de los recursos energéticos, etc.), ha ampliado los problemas. En efecto, los procesos de depuración natural han ejercido una función de control hasta cuando el aporte de material extraño ha devenido tan grande para superar la posible capacidad de respuesta.

La calidad de los contaminantes químicos y las fuentes de contaminantes físicos son hoy en día innumerables. Éstos tienden a distribuirse, aunque tengan como receptores sectores ambientales diferentes, y difundiéndose desde uno a otro determinan una condición de contaminación global. Por contaminación ambiental, por lo tanto, entendemos todo lo que altera la normal composición químico-física de los sectores aire, agua y suelo que sea capaz de poner en peligro la salud humana o de alterar el normal funcionamiento de los ecosistemas naturales. Los contaminantes se deben distinguir en primarios y secundarios. Los *primarios* pueden ser generados en condiciones naturales (exhalaciones volcánicas, combustiones, etc.), o desde las actividades conexas a la vida del ser humano (contaminantes de síntesis o artificiales).

Los contaminantes *secundarios* derivan de las reacciones entre los contaminantes primarios con aire, agua y suelo (reacciones de oxidación-reducción, reacciones fotoquímicas, condensaciones, etc.).

Los contaminantes primarios y secundarios, naturales o de síntesis, llegan al ser humano provocando innumerables daños, a través de mecanismos directos e indirectos de exposición. Los primeros actúan básicamente mediante inhalación (todos los contaminantes que se distribuyen en el aire), o por contacto directo con la dermis y las mucosas. Las modalidades de exposición indirecta se refieren al consumo de agua y de alimentos contaminados. En todos los dos casos pueden conseguirse patologías graves, agudas (intoxicaciones, infecciones, etc.), o crónicas, por la presencia de sustancias con acción mutagénica y cancerígena, tóxica, etc.

Para reducir el riesgo y el daño ambiental se puede intervenir sobre dos factores, reduciendo la probabilidad del evento, o bien, la cantidad de las consecuencias. Cuando se considera el territorio en su globalidad, la individualización de los factores de riesgo y la verificación del daño para el ser humano y para el ambiente requieren investigaciones más complejas respecto a los ambientes confinantes. Para

analizar la calidad ambiental se utilizan indicadores que expresan un fenómeno y que sirven para describir el grado de vulnerabilidad del ambiente prevenible. El indicador ambiental se torna en la representación sintética de una realidad compleja, como el resultado de la relación de muchos factores. Indicadores biológicos en el control ambiental pueden ser especies animales y vegetales particularmente sensibles a los efectos del daño ambiental. Numerosos factores ambientales, como las radiaciones, los metales pesados, los aditivos químicos, son capaces de inducir en las células la producción de especies químicas altamente reactivas, como los radicales libres, que están generados en el curso del metabolismo aerobio, induciendo la alteración de muchos procesos celulares. Este proceso es muy evidente en el caso de las estructuras de las membranas. Algunos radicales libres pueden, además, llegar a relacionarse con el DNA directamente o indirectamente, a través de productos de reacción en cadena causadas desde los mismos radicales. La fracción de daño así inducida que no puede ser eliminada, puede producir mutaciones génicas capaces de incrementar procesos carcinogénicos.

FIGURA 5. Exposición diaria a las radiaciones

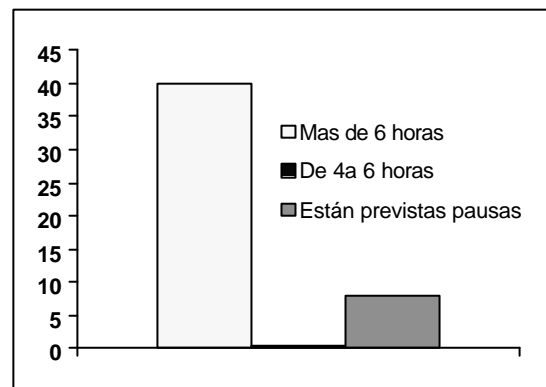
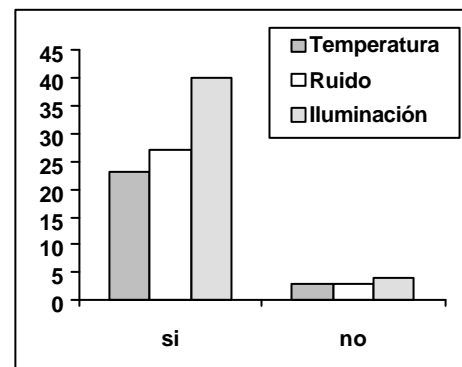


FIGURA 6. Problemas en el trabajo



BIBLIOGRAFÍA

- Aloj Totàro E. *Cultura del rischio, educazione ambientale ed educazione alla sicurezza*, in Atti del Convegno C'è posto per il nucleare nell'ambiente? Roma, 12 maggio 1997.
- Aloj Totàro E. Introduzione all'Ecologia e all'Igiene Ambientale – Edizione Falzea, 1999.
- Aloj Totàro E., Torraca S. Environmental Education as Education to a Sustainable Development: Rischio e danno ambientale. *Implementation of Right to Environmental Information in Europe*. September 10-12, 1998 Mediterranean Agronomic Institute of Chania.
- Durante, Mangoni, Cittadini, Grieco, Zangani *et al.* Il rapporto di casualità nella patologia tumorale da radiazioni ionizzanti, 1994.
- Guariniello R. *Protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti*, in Diritto & Pratica del lavoro, IPSOA, Milano, 1996, n.13, pag. 876 ss.
- International Commission on Radiological Protection (ICPR). Recommendation, Pergamon press. Oxford, ICPR pubbl. n.60, 1991.
- Lafisca S. Problemi medico legali per una valutazione probabilistica delle neoplasie da radiazioni ionizzanti, 1994.
- Mozzo P., Predicatori F., Tavoni A. Manuale delle adempienze e delle norme di radioprotezione ad uso esterno dell'USL 25, Verona, 1993.
- Ricci P., Panarese F. Invalidità Pensionabile e Pensionistica Privilegiata-Normativa Sociale e problematiche relative al riconoscimento ed indennizzo della malattia professionale da radiazioni ionizzanti. Giappichelli ed. 1995.
- Righi E., Di Pofi M., Trenta G. Tumori in soggetti radioesposti e nesso di probabilità, sicurezza e protezione, 17-18, 1988.
- Righi E., Trenta G. The evaluation of the probability of causation. International Congress "Medical Aspects of Radiation Protection Europe", Venice, October 28-31, 1991.
- Silvestrini M. *Effetti biologici dei campi elettromagnetici sul corpo umano*, in Ambiente e Sicurezza sul lavoro, EPC, Roma, Anno XII, 1996, n.9, pag. 16 ss.
- Vergine A. L., Giroletti E. Radiazioni ionizzanti Protezione della popolazione, dei lavoratori e dei pazienti.