

# CARCINÓGENOS AMBIENTALES Y CÓMO EVITARLOS

Ernesto Prieto Gratacós

# ÍNDICE

## CAPÍTULO 1

<b>Venenos respiratorios, irritantes y otras noxas del medio.....</b>	<b>3</b>
Especies reactivas del oxígeno: El enemigo interior.....	10
Endotoxinas vegetales.....	16

## CAPÍTULO 2

<b>Impacto de la contaminación nuclear en la incidencia de cáncer.....</b>	<b>21</b>
--	-----------

## CAPÍTULO 3

<b>Carcinogenicidad de la radiación médica.....</b>	<b>28</b>
---	-----------

## CAPÍTULO 4

<b>Radicales libres y daño estocástico de la radiación.....</b>	<b>37</b>
En definitiva, ¿Qué dosis de radiación es dañina?.....	38
Pero, ¡Las tomografías sí pueden ayudar a salvar vidas!.....	41
Lista de suplementos.....	42

<b>Referencias.....</b>	<b>43</b>
-------------------------	-----------

# Venenos respiratorios, irritantes y otras noxas del medio

*El hombre es lo que come* dice el adagio hindú... y tenemos información cada vez más alarmante sobre la presencia de diversas sustancias carcinogénicas infiltradas en los alimentos, cosméticos, productos de limpieza, combustibles, envases y fármacos de todo género, desde pesticidas, solventes, anticongelantes, lubricantes, antibióticos hasta desechos industriales y polución electromagnética.

Irónicamente una de las sustancias que incorporamos en mayor cantidad es el oxígeno. Sin él no es posible vivir pero, a la vez, este nutriente invisible –que debe penetrar hasta lo profundo de las mitocondrias– está implicado en la producción de moléculas sumamente inestables, las Especies Reactivas del Oxígeno, precisamente en el sitio primario de la producción aeróbica de energía. Los radicales libres se caracterizan por tener un electrón sin aparear y por tanto buscan desesperada y “promiscuamente” unirse a la primera molécula que encuentren, para adquirir estabilidad.

Se ha establecido hace décadas que los radicales libres están fuertemente implicados en el deterioro de la función mitocondrial, y con ello en el cáncer, el envejecimiento, la artritis, las cataratas, los infartos, las arrugas y hasta las manchas de la piel. Múltiples amenazas químicas acechan a los complejos respiratorios mitocondriales, y creciente evidencia sugiere que el progresivo deterioro de la capacidad enzimática de nuestras células para producir ATP aeróbicamente se debe en gran parte al daño causado por una larga lista de agentes químicos del entorno. Centenares de compuestos disruptivos de la función mitocondrial penetran diariamente en nuestro organismo causando un deterioro incremental en nuestro poder de fosforilación oxidativa. En nuestro mundo post-industrial la mayoría de los agentes causantes de cáncer ni siquiera son mutágenos, antes bien, son disruptores totales o parciales de algún componente de la cadena de enzimas (1) involucradas en la fosforilación oxidativa de glucosa.

La razón por la que este hecho no ha sido considerado antes seriamente y en gran escala, es que todos los venenos mitocondriales conocidos, solo son inmediatamente fatales cuando se ingieren en altas concentraciones (rango mili-molar), pero aparentemente inocuos en bajas concentraciones (rango micro-molar), significando que son necesarios largos periodos de **exposición sostenida** para tener efecto carcinogénico mensurable. La insidiosa presencia de estos minúsculos contaminantes u oligotoxinas (2) no es registrable por métodos convencionales, y pasa desapercibida, pero su efecto sobre la capacidad respiratoria es acumulativo. Tanto la progresiva anemización de las personas en función de la edad como la disminución de la densidad (masa) mitocondrial, asociadas al daño intrínseco que sufren dichas mitocondrias con la exposición a las especies reactivas del oxígeno, contribuyen al efecto inhibitorio.



La lista de potenciales carcinógenos ambientales es interminable, en particular porque muchos de ellos tienen una acción carcinogénica indirecta –por ejemplo, disminuyen la permeabilidad de las membranas celulares al oxígeno– lo que puede tomar años en producir finalmente su efecto. Las grasas poliinsaturadas contenidas en los aceites vegetales comunes (soja, girasol, maíz, maní) no solo contienen trazas de los solventes que se utilizan en su extracción a alta temperatura sino que son en sí mismos muy fácilmente oxidables.

La peroxidación lipídica es un factor reconocido en el envejecimiento celular y la carcinogénesis. Ciertas condiciones fisiológicas –como el frío extremo– puede conducir también a la inhibición de la fosforilación oxidativa aún sin la injerencia de una toxina. Presentes en los adipocitos, ciertos canales protónicos integrados a las membranas citoplasmáticas de la **grasa parda** (denominados proteínas desacopladoras) son capaces de disociar la respiración del mecanismo de síntesis final de ATP (3). Este incremento de la combustión intracelular no resulta pues en la generación de ATP sino de calor, y es de crucial importancia para la supervivencia de los animales homeotermos –particularmente en el periodo neonatal y durante la hibernación– para mantener la temperatura corporal.

El severo problema de la hiperglucemia y la hiperinsulinemia crónica, destructora de los capilares sanguíneos, para una progresiva caída en la presión parcial de oxígeno tisular (es decir un fallo microdistributivo), se ve empeorado por las oligotoxinas. Una breve lista de conocidos venenos respiratorios nos deja ver el peligro de introducirlos en el organismo:

Tóxicos mitocondriales	Origen	Sitio	Efecto en respiración celular
Antimicina	Piscicida	Complejo III	Se liga a la citocromo C reductasa (Q) inhibiendo la oxidación del ubiquinol.
Monóxido de carbono / Cianuro / Azida / Sulfuro de hidrógeno	Polución Venenos	Complejo IV	Inhiben el transporte electrónico ligándose fuertemente el centro <b>Fe-Cu</b> en la CcO, impidiendo la reducción del oxígeno.
CCCP (Carbolil-cianuro-clorofenil hidrazona)	Veneno	Membrana interna	Protonóforo: Desactiva la unión de ADP+ Pi (en ATP sintetasa) disolviendo el gradiente protón-motriz al traspasar protones a través de la membrana.
DNP (2,4-Dinitrophenol)	Píldora "dietética" (1930) , veneno	Membrana interna	Protonóforo: Desactiva la unión de ADP+ Pi (en ATP sintetasa) disolviendo el gradiente protón-motriz al traspasar protones a través de la membrana.
Rotenona	Pesticida	Complejo I	Bloquea la transferencia de electrones desde el complejo I hacia la ubiquinona
Oligomicina	Antibiótico	Complejo V	Inhibe la ATP sintetasa bloqueando el flujo de protones en la subunidad Fo.
Malonato Oxaloacetato	Venenos	Complejo II	Inhibidores competitivos de la succinato deshidrogenasa.

La antimicina es parte de una familia de antibióticos segregados por el *Streptomyces*, algunos de los cuales son empleados como fungicidas en la agricultura, contra hongos parasíticos del arroz. La rotenona, usada para el control de especies invasoras por la industria alimentaria, se vierte en lagos y ríos. Sus efectos colaterales alcanzan también el área neurológica, y que se sabe que la rotenona causa enfermedad de Parkinson. En tiempos recientes (de 1700 hasta hoy) el desarrollo de las tecnologías humanas originó infinidad de industrias cuyos productos directos o accesorios son en algunos casos nocivos para el organismo.

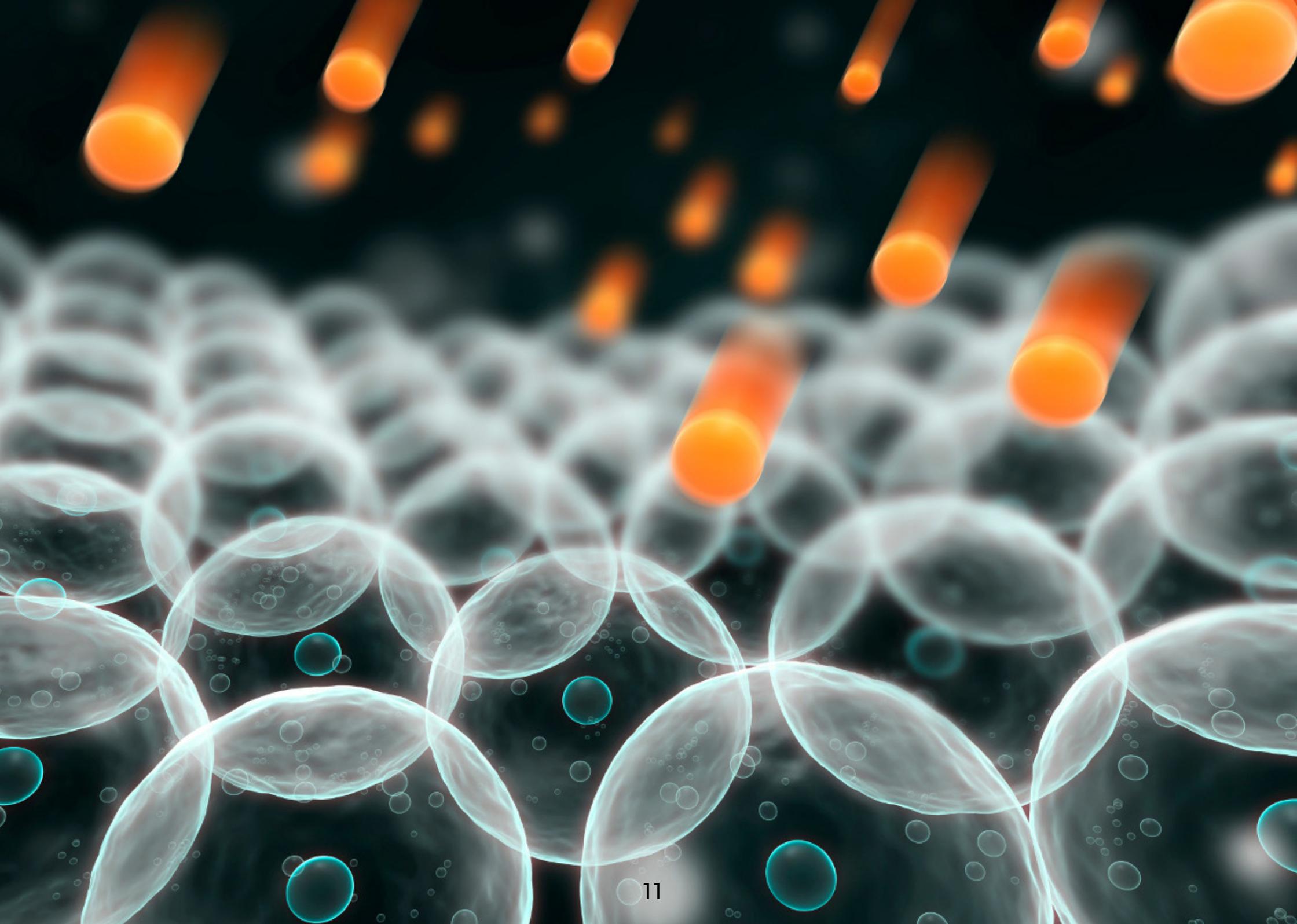
Si bien se han investigado parcialmente el efecto de dichos productos, necesariamente hay aspectos que se pasan por alto debido a lo complicado de realizar pruebas de seguridad a gran escala y durante el suficiente tiempo con cada producto nuevo que se crea. A menudo, incluso en el caso de medicamentos sofisticados previamente aprobados por la FDA –como la Talidomida– los efectos nocivos se descubren cuando ya es demasiado tarde. Para complicar más las cosas, aún cuando se llega a establecer que determinada sustancia (digamos un colorante dietético o un solvente en un shampoo) es segura, no hay modo de saber si su interacción con una o varias de las decenas de miles de otras sustancias ya existentes en el mercado y de amplio uso no va a resultar carcinógena para el hígado, la vejiga o cualquier otro órgano. En los variados alimentos que el Hombre acostumbra a consumir hay tanto carcinógenos como elementos protectores. Teóricamente, si el balance final de todos los elementos fuera favorable, es decir si incorporáramos suficientes anti-carcinógenos como para neutralizar todos los mutágenos, carcinógenos y radicales libres –exógenos o endógenos– reduciríamos notablemente las probabilidades de contraer cáncer.



Generados por varias industrias distintas, venenos como el malati3n, DDT, carbaryl, y muchos otros encuentran una ruta hacia nuestros tejidos. Una manera inmediata de disminuir el riesgo de contraer c3ncer es disminuir la exposici3n a este tipo de sustancias (4) todo lo posible. La otra es, simult3neamente, suplementarse con dosis meta-nutricionales de los precursores enzim3ticos del ciclo de Krebs y la cadena respiratoria, concretamente con riboflavina, niacina, pantotenato, ascorbato. Por cierto que, si no tuvi3ramos las enzimas respiratorias naturalmente presentes en nuestro cuerpo, ni las necesarias vitaminas, minerales y amino3cidos mencionados, con funciones catal3ticas, antioxidantes, etc. morir3amos r3pidamente. La patolog3a caracterizada como progeria se debe justamente a un d3ficit de dichas enzimas caracterizada por una brutal aceleraci3n del envejecimiento en los infortunados ni3os que la padecen, luciendo como verdaderos ancianos hacia el final de sus cortas vidas (de 13-15 a3os).

### **Especies reactivas del ox3geno: El enemigo interior.**

No hay sobre el planeta un solo organismo vivo que respire ox3geno y no posea sistemas enzim3ticos para el control de los radicales libres similares a los nuestros (5). La mayor concentraci3n de dichas enzimas registrada hasta la fecha la tiene la bacteria *Radiodurans*, capaz de vivir en el interior de un reactor nuclear. En altas concentraciones, el ox3geno es un potente veneno con efectos destructivos sobre el sistema nervioso central, la retina y los pulmones a trav3s de la producci3n de radicales libres. Se ha visto que en animales experimentales la exposici3n a ox3geno puro (a 1 atm3sfera absoluta de presi3n), es decir, unas cinco veces la concentraci3n normal, se produjo una completa destrucci3n del timo, seguida de muerte por edema pulmonar a los cuatro d3as.



Si bien los humanos tenemos enzimas protectoras muy superiores a las de la mayoría de los animales las concentraciones normales de oxígeno a lo largo de toda una vida pueden producir daño acumulativo (6). Para el humano común, este daño se debe a la generación mitocondrial de especies reactivas del oxígeno. Los radicales libres son partícipes necesarios de algunas reacciones metabólicas normales pueden neutralizar gérmenes e intervienen en mecanismos de control del ciclo celular. Hasta ahí su utilidad. El exceso de radicales libres es responsable de infinidad de trastornos y probablemente interviene en todo proceso patológico, sea cual fuere su origen. La radioactividad mata precisamente porque genera una masiva cantidad de radicales libres en los tejidos.

Un factor determinante en la toxicidad de los alimentos es su modo de preparación. En algunos casos, la toxicidad se disipa con la cocción. Una ventaja evolutiva bien definida que permitió a los homínidos (*H. erectus*, *H. neandertalensis*, etc.) dominar su entorno y competir con los animales por los recursos disponibles fue el dominio del fuego y la cocción de los alimentos. De no ser tóxicas en alguna medida, las semillas, bayas y granos más diversos ya se habrían extinguido hace milenios. Por otra parte los alimentos tostados y quemados o en general cocidos a altas temperaturas (fritos, asados, o tostados) producen transformaciones tóxicas en dichos alimentos. Las dos fuentes más abundantes de material quemado son el café y el cigarrillo, y secundariamente, todo lo tostado hasta el color marrón. El cuerpo tiene ciertas defensas mecánicas establecidas contra la incidencia de mutágenos y carcinógenos, por ejemplo, renueva constantemente el epitelio de los intestinos, la piel, el estómago, la córnea, etc. Varios alimentos comunes, tanto verduras como proteína animal y lácteos posibilitan la fabricación de tejido nuevo (aminoácidos, Folato, vitamina B-12).



Tan apetecibles, frescos e hipocalóricos como lucen, los vegetales necesariamente contienen cierta cantidad de toxinas endógenas que ellos mismos se vieron forzados a producir en el curso de su evolución para defenderse de los predadores. Muchos de esos pesticidas endógenos naturales (safrol, piperina, agaritina, y canavanina) son carcinógenos. Las fuentes más importantes de radicales libres son el peróxido de hidrógeno y el superóxido, -subproductos del metabolismo normal-, y los radicales del oxígeno que se liberan tras la fagocitosis de virus o bacterias. Nuestras células defensivas devoran a estos agentes invasores liberando radicales libres en el proceso, razón por la cual es tan útil aumentar generosamente la provisión de antioxidantes durante una enfermedad infecciosa. Otro evento común que libera muchísimos radicales libres es la inflamación. Los minerales Zinc y Selenio son anti-carcinógenos de extrema importancia en el control de la oxidación por estas causas.

Una dieta rica en Selenio inhibe significativamente la inducción experimental de tumores de la piel, hígado y colon, con diferentes carcinógenos, así como la inducción de tumores mamarios por virus. La escasez de Selenio en los suelos (y por tanto en la dieta) ha sido asociada fuertemente a la incidencia de diversos tipos de cáncer. Por su parte, los alimentos ricos en vitamina C tienen un importante rol como anti-carcinógenos y muestran una correlación inversa con la incidencia de enfermedades degenerativas e infecciosas a lo largo de la historia. El ácido ascórbico ofrece protección anti-carcinogénica en animales tratados con radiación ultravioleta, benzopireno y nitrito. El ácido úrico es en realidad un potente antioxidante (7), que abunda en la sangre humana en concentraciones de entre 3 y 7 mg/dL, así como en la saliva, donde se piensa que confiere protección (junto con la enzima lactoperoxidasa) frente a varios carcinógenos.



Alimentarse de órganos glandulares (tales como mollejas, timo, huevas, hígado), ricos en purinas, aporta abundante ácido úrico. Lamentablemente, el exceso de ácido úrico puede empeorar la gota. Las semillas oleaginosas, algunos pescados y plantas comestibles contienen el grupo de sustancias (tocoferoles y tocotrienoles) colectivamente denominadas "vitamina E". Los tocoferoles –siendo liposolubles– atrapan radicales libres en la fase oleosa de las células (las membranas están hechas de lípidos), y son por tanto de utilidad en el control de la oxidación. Se ha observado también un efecto protector del daño al ADN causado por radiación. La vitamina E incrementa notablemente la resistencia al ejercicio intenso prolongado que, se sabe, puede producir grave estrés oxidativo y daño tisular. Los vegetales, especialmente los de color amarillo, naranja y rojo contienen Beta-Caroteno probablemente implicado en la protección la grasa corporal y los lípidos de las membranas de la oxidación. Los carotenoides parecen ser anti-carcinógenos en los seres humanos y se usan en el tratamiento de algunas enfermedades genéticas –como las porfirias– en las que la extrema sensibilidad a la luz parece deberse a la formación de un poderoso oxidante, el oxígeno simple (102). Finalmente, las plantas comestibles en general contienen cantidades variables de elementos anti-cancerígenos como los bioflavonoides y los polifenoles que vienen evidenciando una amplia gama de acciones protectoras.

## **Endotoxinas vegetales.**

El universo vegetal, del que se estima que hay unas 391,000 especies, está lleno de microscópicos peligros. Legiones de insectos, hongos y, por supuesto, bacterias pululan en los espacios verdes, y grandes animales herbívoros acechan también al mundo vegetal.



Una de las ilusiones cognitivas remanentes de antiguas concepciones animistas de la realidad, es que todo lo natural es necesariamente bueno. Creciente evidencia indica que la Naturaleza no es particularmente benigna, y que hay muchísimos más venenos que alimentos en el mundo que nos rodea. La cantidad de toxinas naturales en las plantas usadas por los humanos como comestibles es tan vasta que los químicos orgánicos han estado caracterizándolas por más de un siglo y medio, y aún no terminan. Las siguientes sustancias -dependiendo de su concentración, modo de preparación y frecuencia de ingestión- son carcinógenas y/o teratogénicas:

<b>Toxina</b>	<b>Alimento que la contiene</b>
Safrol	Sarsaparrilla
Piperina	Pimienta negra
Hidrazinas	Hongos comestibles ( <i>Gyromitra esculenta</i> )
Agaritina	Setas ( <i>Agaricus bisporus</i> )
Fuorocumarinas (Psoralen)	Fuorocumarinas (Psoralen)
Solanina	Papa (especialmente con brotes)
Quinonas	Café, ruibarbo, mohos de la harina
Quercetina	Cítricos
Teobromina	Té negro, cacao
Vicina y Convicina	Judías (habas blancas o <i>Vicia fava</i> )
Anagirina	Leguminosas (lupine)
Canavanina	Brotes de alfalfa
Progoitrina	Repollo

En tiempos recientes se han puesto de moda algunos métodos que intentan combatir el cáncer con alimentos crudos, incluyendo grandes cantidades de brotes de alfalfa, soja, pasto verde, etc., todos los cuales abundan en fitotoxinas (venenos vegetales). Los argumentos detrás de estas técnicas son en su mayoría de carácter emocional (es decir, son creencias) con poco o ningún fundamento sólido documentado. Los alimentos crudos son calificados de "vivos", "naturales", "no adulterados", y así por el estilo. La dieta crudívora, semejante a la de los monos, promulga volver a la forma primigenia, natural y no adulterada de alimentarse que tenía los homínidos hace 3 millones de años, antes del dominio del fuego. Si bien es cierto que la dieta emblemática de la civilización actual (fast food) es sumamente tóxica, una nutrición racional –basada en los sólidos conocimientos científicos disponibles, sería la conducta racional. Incidentalmente, tan recientemente como 120,000 años atrás, los seres humanos vivían en promedio 18 años.

Nuestro entorno, en especial los lugares donde pasamos las dos terceras partes de nuestra existencia: el hogar y el trabajo, también abunda en compuestos potencialmente dañinos. Las primeras evidencias de esto no son nuevas. Hace más de cien años se advirtió, por ejemplo, una incidencia anormalmente alta de cáncer de vejiga entre los obreros de la industria de las tinturas textiles debido a la sustancia **Beta-naftilamina**. La mitad de los trabajadores de las minas de uranio –mucho antes de que se reconociera que el polvo extraído era radioactivo (1939)– moría de cáncer de pulmón. El asbestos, por su parte, ampliamente usado hasta hace poco como material aislante es responsable de una violenta forma de cáncer pulmonar (más específicamente de la pleura y el peritoneo) que afectaba no solo a los obreros sino también a sus familiares expuestos al asbestos a través de las partículas traídas a casa en las ropas del padre o esposo.

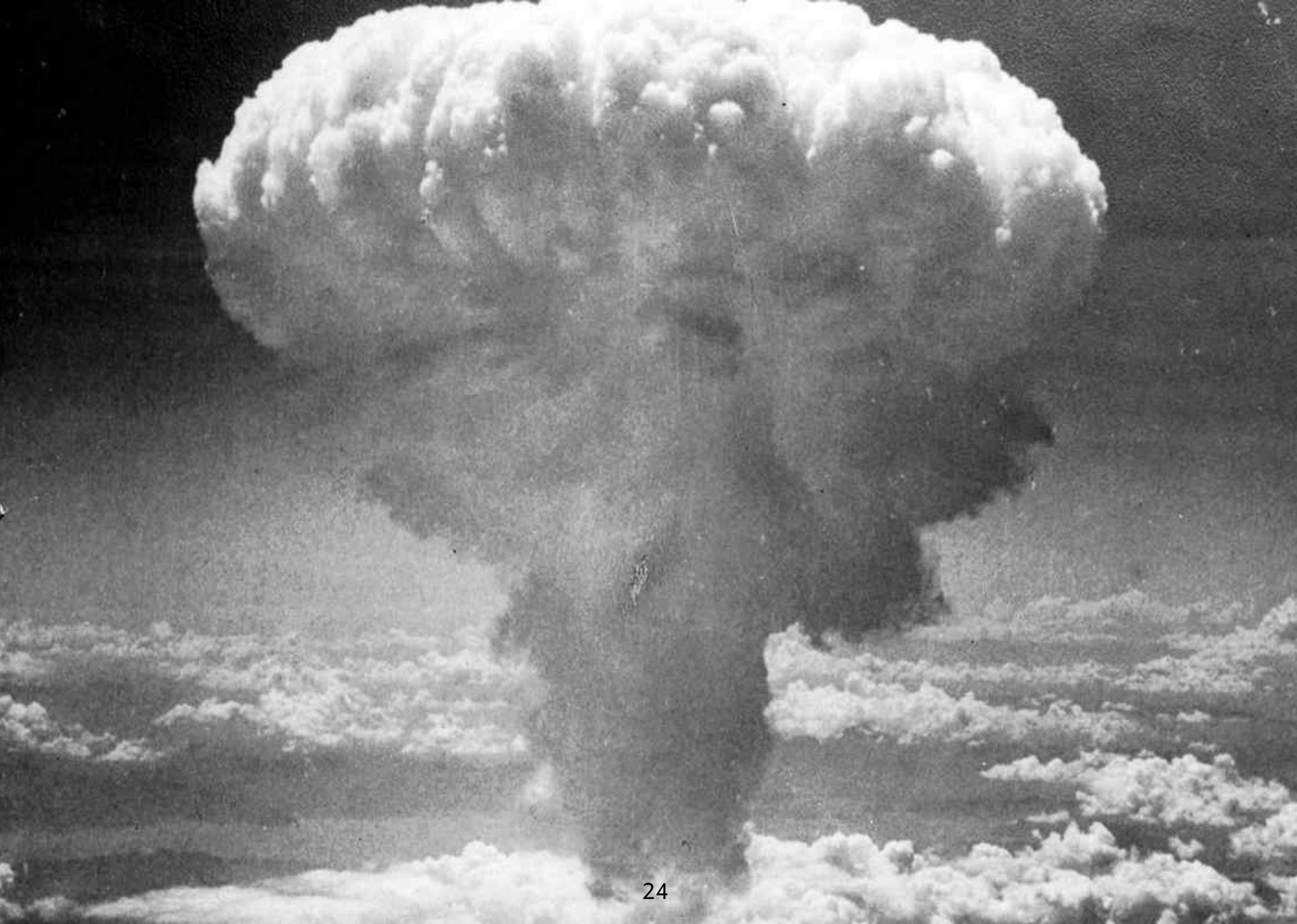
Muchos otros carcinógenos se han descubierto en diversas industrias: tetracloruro de carbono (CCl<sub>4</sub>) usado en las tintorerías, el **benzopireno**, presente en los vapores del asfalto hirviente (usado en calles e impermeabilizaciones de techos), **cloruro de vinilo** en la industria del plástico, **clorobifenilos** –en las papeleras–, **hidrocarburos aromáticos polinucleares** (PAH) emitidos por las brasas de carbón para asar y ahumar, y muchos muchos otros. Con todo, la esperanza de vida al nacer y (en mucha menor medida) la longevidad individual máxima de los seres humanos ha venido creciendo sistemáticamente en los últimos cientos de años. Lo más sensato al respecto de cómo disminuir las probabilidades de contraer cáncer debido a toxinas ambientales y endógenas es seguir un programa de **suplementación nutricional** lo más abarcador posible, basado en los conocimientos objetivos ya disponibles.

# Impacto de la contaminación nuclear en la incidencia de cáncer

La radioactividad, tanto de origen ambiental (accidentes nucleares, explosión de armas atómicas, rayos cósmicos) como de origen médico (radiografías, tomografías o radioterapia), es capaz de causar cáncer. Comenzando con la histórica detonación de "Baker" (rudimentaria bomba atómica en la operación Crossroads, la primera en una larga saga de pruebas nucleares a cielo abierto), nuestro planeta ha sufrido cientos de explosiones nucleares de magnitud creciente (kT) de las cuales ha derivado una masiva cantidad de radiación.(8) La radiación ionizante es sin dudas uno de los agentes carcinogénicos más conocidos, y es un hecho establecido que la radioactividad produce cáncer. Lo que no es de dominio público es que los niveles de radioactividad en nuestros alimentos y sobre nuestros cuerpos han estado aumentando desde 1945 hasta la fecha.(9) Los seres vivos han estado expuestos desde siempre a la radiación natural: de elementos minerales como el Potasio-40, el radio y el Tritio, o bien de los rayos cósmicos. En su totalidad, la exposición a estas formas de radiación de alta energía promedia unos 100 miliröntgens al año.(10) Se ha establecido que dicha exposición –que no tenemos modo de evitar– causa cáncer, así como malformaciones congénitas (defectos de nacimiento).



En la década de los cincuenta, Hardin Jones, Linus Pauling y otros estimaron que, en su conjunto, la radiación natural a que estamos expuestos son responsables de cuando menos el 9% de los cánceres (11). Agregando a esto las partículas radioactivas provenientes de explosiones nucleares a cielo abierto, el panorama se vuelve más tenebroso. Basado en sus investigaciones y en particular en el estudio dirigido por la Dra. Louise Reiss (12) sobre la contaminación de la leche y otros alimentos con la radiación proveniente de las pruebas nucleares, Pauling y su esposa –la pacifista Ava Ellen– iniciaron una campaña contra el testeo y uso de armamento nuclear que lo condujo a la obtención de su segundo premio Nobel en 1962. La investigación de la Dra. Reiss (popularizada como The Baby Tooth Survey) se basó en el análisis de 50.000 “dientecitos de leche” entre 1948 y 1953, y encontró un incremento progresivo de la substancia radioactiva Estroncio-90 en ellos, proveniente de la contaminación de los campos agrícolas y ganaderos por lluvia radioactiva (12). Estos eventos se sitúan a mediados de la década de los cincuenta, y mucho más ha sucedido en nuestro mundo en lo relativo a los usos militares o energéticos de la fisión atómica. De las 2.047 pruebas declaradas de armas nucleares llevadas a cabo en el planeta, 711 han tenido lugar en la atmósfera o bajo el agua (EEUU: 218, Rusia: 207, Inglaterra: 21, Francia: 45, China: 23). Se ha estimado que la carga total de las armas nucleares testeadas ha alcanzado los 438 megatones, un poder análogo al de 29.200 bombas de potencia similar a la arrojada en Hiroshima. Durante los 35 años (1945–1980) en los que se realizaron las pruebas nucleares en la atmósfera, tal cantidad de megatones equivale a haber detonado una bomba atómica del tamaño de la de Hiroshima cada once días. Adicionalmente, unos 4.000 kg de plutonio han sido depositados en el suelo como resultado de explosiones atómicas subterráneas.(13)



Varios miles de pruebas atómicas (desde 1944) y el enorme incremento de la exposición a radiación médica (más de 60 millones de tomografías en 2005) han tenido un documentado efecto carcinogénico en la población humana. Los datos epidemiológicos descritos en sobrevivientes de Hiroshima y Nagasaki, en habitantes de regiones cercanas a accidentes nucleares como Chernobyl y Fukushima, así como en personas con exposición ocupacional (científicos, técnicos radiólogos, etc.) muestran que las dosis de radiación recibidas son cercanas a las que recibe un paciente (14). No toda la radioactividad que inunda ahora la Tierra proviene de las armas. En Abril de 1986, poco después de medianoche, una tremenda explosión ocurrió en la gran planta nuclear de Chernobyl, seguida de inmediato por la reacción en cadena que hizo al reactor #4 derretirse gradualmente. Sin dudas, este ha sido el peor accidente nuclear hasta la fecha, que despidió una extensa nube radioactiva a través de Bielorusia, Polonia y las Repúblicas Bálticas hasta llegar a Escandinavia. En pocos días, oleadas de radioactividad llevadas por el viento traspasaron las fronteras soviéticas llegando a gran parte de Europa del Este.

La radiación ionizante referida, la misma que se usa en los tratamientos oncológicos para atacar los tumores o bien en medicina general para obtener las útiles radiografías, tomografías, fluoroscopías, etc. se mide en röntgens por hora. Una exposición de 500 röntgen/h durante cinco horas es letal para una persona (15). Los animales capaces de sintetizar ácido ascórbico tienen, interesantemente, una mayor resistencia. Una gallina resiste casi tres veces más que un hombre, y una cucaracha cien veces más. Normalmente, en las ciudades modernas el contador Geiger marcará unos 10 microröntgens/h. En medio de una ciudad como la Habana Vieja, llena de fortalezas y palacios coloniales, la radiación es de 20 microröntgens por hora. Esta es la radioactividad de la piedra.

En cambio, en las inmediaciones de los sitios donde se han realizado pruebas nucleares a cieloabierto, se han detonado armas atómicas o ha habido accidentes nucleares, la situación es bien diferente. Otra fuente, aunque de menor incidencia general son ciertos hospitales donde se usan máquinas de cobalto para tratamientos de radioterapia oncológica. Una de nuestras enfermeras trabajó, antes de comenzar en nuestro centro, en un importante hospital oncológico de la capital, y su estado de salud mostraba signos claros de un enorme estrés oxidativo. Según ciertos rumores, la bomba de cobalto del hospital emitía radiaciones en tanta cantidad que varias cuerdas a la redonda estaban contaminadas.

De acuerdo al reporte de una doctora amiga nuestra, muchos trabajadores del hospital (especialmente las mujeres) sufren de una sospechosa mala salud, adjudicada a la exposición radioactiva. Nuestro equipo hizo mediciones con un contador Geiger tanto en el interior como en las inmediaciones de los centros médicos en los que se hace radioterapia, así como en los centros especializados en radiología. Este riesgo laboral, si bien es muy alto para los profesionales de la salud expuestos, no constituye una amenaza global. En cuanto a la exposición a los rayos X (radiografías, tomografías) se considera que en promedio es igual a la exposición natural, o sea, 100 miliröntgens al año. Visto así, el uso médico de la radiación causa tantos cánceres como los rayos cósmicos y los minerales radioactivos naturales (otro 9%), aunque en muchos casos se justifica teóricamente el riesgo dado el enorme valor que se le adjudica en la práctica médica. En suma, los núcleos atómicos radioactivos liberados a la atmósfera durante la fabricación y testeado de armas nucleares, así como las explosiones y fugas accidentales en las plantas de energía atómica, los submarinos atómicos averiados, las negligencias industriales, etc., han penetrado en los organismos de cada ser vivo en la Tierra.(16)

Estos elementos (Estroncio-90, Cesio-137, Carbono-14, etc.) continúan incrementando la incidencia del cáncer en cada país de nuestro planeta. La radiación antropogénica (causada por el Hombre), en particular la radiación médica, es una seria amenaza para nuestra salud. La única protección real contra esta amenaza es el uso intensivo de ciertos antioxidantes, y regenerar la capacidad aeróbica de nuestras células, concretamente, suplementarse intensivamente con los micronutrientes involucrados en la fosforilación oxidativa (Riboflavina, Nicotinamida, Biotina, Pantontenato, Cobalamina, ascorbato, Zinc, Selenio, Manganeso, etc.) todos los cuales son precursores de los catalizadores biológicos que el genial Otto Warburg denominó ENZIMAS RESPIRATORIAS.

Un programa realmente racional (basado en la evidencia científica) para la prevención del cáncer tiene como uno de sus pilares el conocimiento técnico que describimos en los próximos artículos: MEGAVITAMINAS: Revirtiendo el deterioro mitocondrial y COMPLEJO B y cofactores enzimáticos contra el cáncer.

# Carcinogenicidad de la radiación médica

Desde 1960 hasta la fecha se han realizado en nuestro planeta unos diez mil millones de estudios imagenológicos en los que se baña al paciente con radiación de alta energía (incluyendo radiografías, tomografías, fluoroscopías<sup>1</sup>, angiogramas, etc.) (17). No hay ninguna duda de que la exposición a la radioactividad incrementa acumulativamente las probabilidades de contraer cáncer. Incluso la American Cancer Society reconoce este riesgo, si bien reporta cifras bastante menores que las reales ([www.cancer.org](http://www.cancer.org)), al tiempo que varios estudios científicos proveen evidencia del potencial carcinogénico de la irradiación con fines diagnósticos (2-5). Se calcula que tanto como un 3% de los cánceres detectados anualmente se deben a la exposición acumulada de energía radiante en estudios radiológicos. Para un hombre de 100 kilos, una simple serie de radiografías expone su organismo a aprox 0,4 mSv (miliSieverts), equivalente a la natural radiación de fondo de cuarenta o cincuenta días. Una tomografía PET/CT lo expone a 25 mSv, es decir, la radiación que recibiría a lo largo de una década pero concentrada en el curso de una sola hora (18). Estas cantidades se duplican si se trata de una persona que solo pesa 50 kilos, y en el caso de los niños el daño es consecuentemente mayor.



Examinada en el contexto de nuestra vida actual, en que las diversas formas de radiación ambiental se han incrementado abruptamente debido a la actividad humana, la suma total de radiación ionizante a la que estamos expuestos es peligrosamente alta. Recientemente, el accidente nuclear en la planta japonesa de Fukushima despertó nuevamente la conciencia pública, que ya había olvidado el desastre de Chernobyl: cualquier clase de radiación ionizante puede producir cáncer (19). A pesar de nuestra temprana fascinación con la energía nuclear no se puede menos que advertir –y lamentar– el rumbo que tomó desde mediados del siglo XX el uso de ese enorme poder.

El beneficio de las técnicas de diagnóstico por imágenes es tan enorme que no es posible imaginar a la medicina moderna sin ellas. Un análisis crítico debe hacerse, sin embargo, ya que el uso de estas técnicas implica la exposición a cantidades acumulativas de radiación de alta energía, de reconocido potencial carcinogénico (20). En ciertas circunstancias, estudios como los angiogramas son realmente útiles, pero cabe preguntarse a qué precio, dada la increíble cantidad de radiación a que exponen al paciente (21). Hoy día, algunas empresas no conscientes de este peligro ofrecen promocionalmente a gente sana “escaneos completos”, colonoscopías virtuales y tomografías “preventivas” de cuerpo completo exponiéndola a enormes dosis radioactivas.(22)

¿Pero, hay evidencia de que la radiación causa cáncer? Muchos de los primeros investigadores científicos dedicados al trabajo con los Rayos-X murieron de cáncer como consecuencia de su exposición a las radiaciones. Hace mucho tiempo se determinó que la radiación ionizante causa una verdadera quemadura interna debido al agudo estrés oxidativo (por liberación de radicales libres), y daño directo a las mitocondrias,



la que ocasiona a su vez mutaciones de ciertos genes reguladores del metabolismo y la proliferación celular (23). Tras la quemadura radioactiva y el daño al ADN la intensa proliferación celular así inducida, sumada a condiciones generales de hipoxia, condicionan la transformación maligna de los tejidos dañados (24). Las fuentes de radiación en nuestro planeta incluyen los rayos cósmicos, la radiación residual de las rocas, el gas radón, los desechos de la industria, los accidentes en plantas energéticas y submarinos nucleares y las detonaciones de armas atómicas a cielo abierto (25).

Consideremos los siguientes hechos:

- Ninguna cantidad de radiación es inocua, sin importar cuán pequeña sea la dosis, y sus efectos carcinogénicos son acumulativos.
- Una radiografía de tórax impacta al paciente con 0.1 miliSieverts de radiación. Tal cantidad es apenas una fracción (1/500) de la dosis anual máxima permisible para un técnico radiólogo (50 miliSieverts). Sin embargo, dos tomografías lo impactan con hasta 40 miliSieverts.
- Una tomografía de columna vertebral descarga el equivalente a 500 radiografías. Una tomografía de cuerpo entero (full-body scan) equivale a unas 800 radiografías.
- La radionecrosis letal del cerebro es una de las complicaciones del tratamiento convencional de los cánceres de cabeza-cuello.

- En los años cincuenta científicos ganadores del premio Nobel como Linus Pauling, Albert Einstein y otros investigadores (como el savant bioestadístico Hardin Jones) colaboraron para estimar la incidencia de la radiación en el cáncer detectado en humanos. El resultado del cálculo arrojó que la radiación ambiental natural era responsable de entre un 9% y un 11% de los casos de cáncer en la población.
- Dos tomografías generan el equivalente de 10 años de radiación natural continua. Eso implica que un porcentaje significativo de los cánceres detectados hoy en día ha sido causado por el uso médico de la radiación ionizante en los últimos 20 años.
- A principios de los años ochenta se hacían tres millones de tomografías anuales, mientras que a fines de esta década se vienen haciendo casi setenta millones de tomografías por año: ¡2300% de incremento!
- La incidencia de cáncer de mama ha aumentado dramáticamente desde 1960. Dicho incremento numérico está fuertemente asociado al crecimiento exponencial del uso de técnicas radiológicas sobre esa zona del cuerpo.
- Incluso dosis mínimas de radiación pueden causar cáncer (particularmente si existe deficiencia de nutrientes antioxidantes y genoprotectores). La Academia Nacional de Ciencias (USA) define la dosis mínima de radiación como cercana a cero.
- La administración repetida de radiación ionizante para usos diversos causa indefectiblemente cáncer de mama aún en especies normalmente resistentes a este.

- Los niños son especialmente vulnerables a la radiación ionizante. La administración accidental 10 miliSieverts a un embrión humano ha sido suficiente para causar toda forma imaginable de neoplasias infantiles.
- Estudios oficiales publicados por el Instituto Nacional del Cáncer (USA) han alertado acerca de que las tomografías realizadas tan solo en un año serán responsables en el futuro de decenas de miles de casos de cáncer resultantes en miles de muertes.
- Las personas con tuberculosis cuyo tratamiento incluía el uso de la fluoroscopia (técnica radiológica) –típicamente en la primera mitad del siglo XX– desarrollaron el doble de neoplasias (en especial cáncer de mama) que las personas no tratadas con esa técnica.
- La incidencia de cáncer en los trabajadores con sustancias radioactivas, así como en los sobrevivientes al bombardeo atómico a las ciudades japonesas ha sido mayor que en los individuos de iguales características (controles) pero sin exposición a radiaciones.
- El efecto más inmediato y comprobable de la radiación (previo incluso a la genotoxicidad) es que fuerza a las células arteriales a proliferar incontrolablemente. Tal crecimiento celular estrecha y esclerosa dichas arterias.
- La irradiación terapéutica (radioterapia) y en menor medida la irradiación diagnóstica (radiografías, tomografías, etc.) de partes del cuerpo que contienen grandes arterias<sup>2</sup> tiende a producir aterosclerosis en dichos vasos.

- La radionecrosis letal del cerebro es una de las complicaciones del tratamiento convencional de los cánceres de cabeza-cuello.
- La radiación genera lesiones en el sensible recubrimiento interno de las arterias (el endotelio vascular), incremento del estrés oxidativo en todos los tejidos e incremento de la agregación plaquetaria (lo que vuelve a la sangre más proclive a coagularse y taponar los vasos).
- Los pacientes irradiados por cánceres de cabeza-cuello tienen 500% más de riesgo de morir de accidentes vasculares encefálicos (infartos cerebrales) que los tratados con cirugía solamente. El tiempo promedio entre la irradiación y el infarto cerebral suele ser de alrededor de 10 años.

Nota: En lo referente a las personas tratadas por cáncer con radioterapia que mueren más tarde de infarto cerebral, la causa oficial de muerte es "accidente cerebrovascular", aun cuando con toda probabilidad la causa real haya sido el tratamiento mismo. Este es un ejemplo de cómo las estadísticas pueden dar falsos resultados. Los efectos carcinogénicos que la radiación produce a largo plazo ciertamente causan muertes, pero estas no son atribuidas al cáncer.

Cada persona que se haya expuesto a la influencia de radiaciones médicas ha incrementado en alguna medida su riesgo de padecer cáncer (particularmente leucemia, cáncer de pulmón, de mama o cabeza-cuello). Si se tiene también en consideración el tremendo incremento en la radiación ambiental en los últimos 60 años y los muchos diagnósticos por imagen que una persona se hace en su vida, el riesgo de contraer cáncer es una seria amenaza que requiere acción inmediata.

Pero hay ocasiones en que una radiografía o una tomografía podrían potencialmente salvar una vida... ¿Qué hacer entonces? Es posible que eventualmente, las Resonancias Magnéticas terminarán por reemplazar totalmente a las tomografías. El único modo de recibir sin peligro radiación ionizante es asegurarse de contrarrestar completamente todo el daño que haya sufrido el ADN. Para lograrlo, es necesario el empleo simultáneo de grandes cantidades de antioxidantes, coenzimas, flavonoides, aminoácidos, oligoelementos, etc., con documentada capacidad biorreparadora. Cualquier grado de daño no reparado generará lesiones, que a su vez tienen la potencial capacidad de engendrar cáncer.

# Radicales libres y daño estocástico de la radiación

“Nada en esta vida debe ser temido, sino comprendido.  
Es hora ya de comprender más, para temer menos”.

Marie Curie

El punto en común que tienen todos los carcinógenos ambientales es el daño a la función mitocondrial. Ya sea que se trate de irritantes, de venenos respiratorios (oligotoxinas) o de radiación de alta energía, cualquier disruptor de la respiración celular puede ocasionar cáncer en un tejido bajo demanda funcional intensa. Estos eventos carcinogénicos, demostrados experimentalmente por Otto Warburg, Dean Burk y otros, que incluyen también la hipoxia, son independientes de la presencia de mutágenos, y anteceden de hecho a cualquier aberración genómica. Para evitar la angustia del lector, nos apresuramos a informar que una inmediata defensa contra el deterioro mitocondrial generado por radicales libres del oxígeno es la sistemática suplementación con un complejo antioxidante de espectro y potencia adecuados.

La fuente primaria de radicales libres del oxígeno, o RLO, es por supuesto nuestro propio metabolismo oxidativo, que abordaremos próximamente, pero para los propósitos de esta serie de artículos debemos concluir antes el análisis de las fuentes exógenas. Hemos venido describiendo el posible potencial carcinogénico de la radiación antropogénica en cuyo centro mismo se encuentran los radicales libres del oxígeno generados por esta, y el daño estructural que ellos causan a las sensibles cadenas enzimáticas de las crestas mitocondriales internas (respirasomas). El razonamiento convencional gira en torno al daño causado al ADN pero, al presente, la opinión de nuestro grupo es que la clave del asunto es el daño a la capacidad para la fosforilación oxidativa en las mitocondrias, y no improbables mutaciones genéticas.

### **En definitiva, ¿Qué dosis de radiación es dañina?**

Cuando la intensidad de la radiación recibida es superior a 100 mSv, los daños al tejido vivo son siempre inmediatos y evidentes: quemaduras, náuseas, destrucción de las células sanguíneas, etc., y se habla por tanto de daño DETERMINÍSTICO. Sin embargo, con una exposición a niveles de radiación inferiores a 100 mSv, los trastornos que podrían producirse dependen también aleatoriamente de otras condiciones orgánicas de gran variabilidad. En este caso, la aparición de cáncer no puede predecirse a la escala de un único individuo. Es por ello que la incidencia de cáncer como consecuencia de dosis bajas de radiación ionizante solo puede ser descrita en términos de probabilidad, por lo cual hablamos de daño ESTOCÁSTICO. Ejemplos: En la década de 1930, el 2% de las trabajadoras que decoraban relojes (cuya pintura contenía uranio) desarrollaron cáncer de lengua, mandíbula, etc.



Antes del uso de máscaras especiales, los mineros que extraían uranio en los años cincuenta contraían 40% más de cáncer de pulmón que los trabajadores comunes. Las mujeres sometidas en su juventud a fluoroscopías padecieron el doble de cáncer de mama que las que no utilizaron esa herramienta de diagnóstico radiológico.

Es poco probable que las relativamente pequeñas dosis de radionucleídos emitidas por plantas nucleares debidamente reguladas tengan realmente el efecto dañino que el público y algunos profesionales temen. De hecho, en comparación con el masivo daño ambiental que producen las plantas energéticas de carbón, las centrales termonucleares<sup>2</sup> son una alternativa energética cien veces más limpia.

En Medicina, sin embargo, el problema con la radiación diagnóstica indiscriminada y, muy especialmente, con la radioterapia, es que no solo las dosis totales de radiación terminan siendo superiores a 100 mSv (el umbral de daño celular) sino que la intensidad o ratio de aplicación de dicha dosis es enorme. La biología molecular y la microdosimetría implicadas en estos estudios es compleja, pero no resulta difícil entender como una tomografía PET expone al sujeto del estudio a entre 25 y 45 mSv (equivalente a la radiación natural de fondo de 1-2 décadas) de manera concentrada en el curso de media hora.(26) No es en absoluto lo mismo tomar una aspirina diaria durante un año, que tomar 365 aspirinas de una sola sentada. El daño celular causado por la radiación puede ser reparado si la dosis total es recibida progresivamente, a lo largo del tiempo. Los sistemas antioxidantes y los mecanismos de reparación celular tienen así la oportunidad de ser efectivos. La intensidad de la dosis es pues crucial y debe considerarse en el cómputo de los efectos a largo plazo de dicha irradiación.

Se ha constatado un incremento de riesgo de cáncer en los sobrevivientes de explosiones atómicas –cuya dosis de exposición promedio fue de 40 mSv, dosis equivalente a la de los estudios actuales como la tomografía por emisión de positrones o PET, de los cuales una persona puede recibir varios en un corto periodo.(27-29)

Estudios más recientes basados en el seguimiento de más de cuatrocientos mil trabajadores expuestos a radiación industrial (dosis promedio de 20 mSv) mostró una significativa correlación entre la dosis de radiación recibida y la mortalidad por cáncer.(30, 31)

### **Pero, ¡Las tomografías sí pueden ayudar a salvar vidas!**

Dada la importancia diagnóstica que tienen estas técnicas imagenológicas es importante entonces sopesar los riesgos y beneficios adecuadamente. La primera y más obvia manera de disminuir el impacto carcinogénico de la radiación es por supuesto restringir su uso a lo estrictamente necesario, al tiempo que deben estandarizarse los procedimientos para hacer más eficientes las aplicaciones. Para esto serán necesarias masivas campañas de educación profesional y varias regulaciones específicas.

Una intensa discusión está teniendo lugar en torno a los potenciales riesgos de las tomografías y similares estudios, y su relación riesgo/recompensa. Es de esperar también que nuevas técnicas no dañinas de diagnóstico surjan en el futuro próximo. Mientras tanto, la suplementación sistemática con complejos antioxidantes de gran potencia, es una herramienta eficaz y accesible para prevenir el daño por radicales libres:

## **LISTA DE SUPLEMENTOS.**

La dosis diaria a ingerir -en dos tomas, una tras cada comida copiosa- es la siguiente:

Tocoferol (Vit. E) 600 IU, PABA 50 mg, Palmitato (Vit. A) 2.000 IU, Hesperidina 200 mg, Colecalciferol (Vit. D3) 2.000 IU, Biotina 500 µg, Tiamina (B.1) 200 mg, Inositol 200 mg, Riboflavina (B.2) 200 mg, BHT 350 mg, Niacina (B.3) 200 mg, Colina 250 mg, Ácido pantoténico (B.5), 300 mg Zinc 25 mg, Piridoxina (B.6), 50 mg, Ascorbato 500 mg, Cianocobalamina (B.12) 500 µg, Folato 10.000 µg, Betacaroteno 10.000 IU, Selenio 75 µg, Menaquinonas (K2) 5 mg, Ácido R-Lipóico 200 mg. De manera separada, debido al volumen, debe incorporarse también a diario un suplemento de Magnesio (400 mg).

Por razones regulatorias, ninguna formulación vitamínica comercial puede proveer estas dosis -que nada tienen que ver con la CMI (o Cantidad Mínima Indispensable para no morir de una enfermedad carencial). Es perfectamente posible, y mucho más económico, encargarse de esta clase de combinaciones a un dispensario farmacéutico que prepare fórmulas magistrales. Dado que se trata de un uso meta-nutricional o farmacológico, los tratamientos con megadosis vitamínicas deben ser indicados y controlados por un médico competente.

**NO SE AUTOMEDIQUE.**

## Referencias:

(1) Se les denomina inhibidores del ETS (Electron Transport System).

(2) Algunas sustancias que pueden encontrarse en los alimentos, fármacos, cosméticos, envases, o simplemente suspendidos en el aire que respiramos ingresan al organismo humano en cantidades sumamente pequeñas, en el orden de partes por millón (PPM). Las oligotoxinas no son inmediata y evidentemente letales pero su efecto continuado va deteriorando, en conjunto con factores como la impermeabilidad de las membranas al oxígeno, la capacidad respiratoria celular.

(3) Ricquier D, Bouillaud F (2000). "The uncoupling protein homologues: Biochem. J.

(4) Muchísimos años más que otras aves de similar tamaño gracias a una concentración mayor de ciertas enzimas antioxidantes.

(5) Tristemente, antes de que se reconociera el carácter toxico del oxígeno muchos bebés prematuros expuestos a O<sub>2</sub> puro terminaron ciegos, dependiendo del tiempo de exposición. Estos resultados obligaron a limitar el tiempo de la terapia. A concentraciones quince veces superiores a la normal los seres humanos mueren con convulsiones en menos de una hora.

(6) Igualmente, debido a su alto índice glucémico aún los vegetales ricos en ciertas vitaminas no deben formar parte del programa terapéutico si se está llevando a cabo una dieta cetogénica (ver el sistema KETO).

(7) 1.000 micro-röntgens equivalen a un miliröntgen, 1.000 mili-röntgens equivalen a 1 roentgen. 1 roentgen/hora es entonces 100.000 veces la cantidad de radiación de una ciudad normal. En el centro de Prypiat (Chernobyl) a 23 años del accidente en el reactor nuclear #4, la radiación remanente permanecerá en el área por 48.000 años, pero los humanos podrán repoblar el lugar dentro de unos tres o cuatro siglos. Nadie habita la zona en unos 40 kilómetros a la redonda.

- 8) Industry "Weapons" for Earth Depopulation [http://www.bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia\\_industryweapons.htm#contents](http://www.bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia_industryweapons.htm#contents)
- 9) The History of Nuclear Energy. by U.S. Department of Energy, D. Kvasnicka, Science, and Technology Office of Nuclear Energy and U.S. Government
- 10) Nuclear Inc. (The atomic brotherhood) Mark Hertsgaard
- 11) The Future of Nuclear Energy to 2030 and its Implications for Safety, Security and Nonproliferation: Overview. Trevor Findlay (2010). The Centre for International Governance Innovation (CIGI), Waterloo, Ontario, Canada, pp. 10-11.
- 12) Radiation-Related Cancer 25 Years After Chernobyl. Horst Zitzelsberger Genes
- 13) Mechanisms of radiation-induced neoplastic transformation of human bronchial epithelial cells. Zhao Y.L., Piao C.Q., Hall E.J. and Hei T.K. Radiat. Res. 155:230-234 (2001).
- 14) Radiation from medical imaging and cancer risk. David Gorski. December 21, 2009
- 15) Radiation, the two-edged sword: cancer risks at high and low doses. Hall E.J. Cancer J. 6:343
- 16) Health Risks from Low Levels of Ionizing Radiation. BEIR 7 phase 2 US National Research Council (2006). National Academies Press. pp. 5, fig.PS-2. ISBN 030909156X (US National Committee on Radiation Protection) 1987
- 17) Naked To The Bone: Medical Imaging In The Twentieth Century. B. KEVLES

- 18) Projected Cancer Risks From Computed Tomographic Scans Performed in the United States in 2007  
Berrington de Gonzalez, A., Mahesh, M., Kim, K., Bhargavan, M., Lewis, R., Mettler, F., & Land, C.  
(2009). Archives of Internal Medicine
- 19) Radiation Dose Associated With Common Computed Tomography Examinations and the Associated Lifetime Attributable Risk of Cancer  
Smith-Bindman, R., Lipson, J., Marcus, R., Kim, K., Mahesh, M., Gould, R., Berrington de Gonzalez, A., & Miglioretti, D. (2009). Archives of Internal Medicine
- 20) Cancer risks and radiation exposure from computed tomographic scans: how can we be sure that the benefits outweigh the risks?  
Redberg RF (2009). Archives of internal medicine
- 21) Computed tomography—an increasing source of radiation exposure.  
Brenner DJ, & Hall EJ (2007). The New England journal of medicine
- 22) A history of medical imaging  
Infinity Ugent.
- 23) The Biology of Cancer.  
Weinberg, R.
- 24) Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks?  
Jolyon H Hendry. J Radiol Prot
- 25) Radiation in Everyday Life.  
IAEA International Atomic Energy Agency
- (26) Radiation doses and cancer risks from breast imaging studies.  
Hendrick RE Radiology 2010
- (27) Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and non-cancer disease mortality: 1950-1997.  
Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, Suyama A, Mabuchi K. Radiat Res 2003

28) Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. Pierce DA, Preston DL. Radiat Res 2000

(29) Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. Preston DL, Ron E, Tokuoka S, et al. Radiat Res 2007

(30) The 15-country collaborative study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: estimates of radiation-related cancer risks. Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, et al. Radiat Res 2007

(31) Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, et al. BMJ 2005