

TÓXICOS  
LOS ENEMIGOS DE LA VIDA



Raimon Guitart

TÓXICOS  
LOS ENEMIGOS DE LA VIDA

Director de la colección: Gonzalo Pontón Gijón

Consejo asesor:  
José Manuel Blecua  
Fátima Bosch  
Victòria Camps  
Salvador Cardús  
Ramon Pascual  
Borja de Riquer  
Joan Subirats  
Jaume Terrades

© del texto: Raimon Guitart Bas, 2014  
© de esta edición: Edicions UAB, 2014  
© de la fotografía de la cubierta: Szasz-Fabian Ilka Erika / Shutterstock.com

Edicions UAB  
Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona  
Edifici A  
08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)  
Tel. 93 581 10 22  
sp@uab.cat  
www.uab.cat/publicacions

ISBN: 978-84-941904-0-7  
Depósito legal: B.1401-2014  
Impreso por Novoprint  
Impreso en España – Printed in Spain

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del *copyright*.

CATHERINE: Et pourquoi faire le Mal?

GÆTZ: Parce que le Bien est déjà fait.

CATHERINE: Qui l'a fait?

GÆTZ: Dieu le Père. Moi, j'invente.

Jean-Paul SARTRE,  
*Le Diable et le bon Dieu*



# Índice

ABREVIATURAS . . . . .	13
PRÓLOGO . . . . .	17
AGRADECIMIENTOS . . . . .	21
1. GÉNESIS . . . . .	23
2. VIDA Y LA GRAN CRISIS (TÓXICA) DEL OXÍGENO . . . . .	27
3. ESPECIES REACTIVAS DE OXÍGENO, ENVEJECIMIENTO Y MUERTE . . . . .	29
4. LAS FÁBRICAS DE ENERGÍA DE LA CÉLULA . . . . .	31
5. ¿SOLO LOS TÓXICOS SINTÉTICOS INFUNDEN RESPETO?. . . . .	33
6. NACIMIENTO E INFANCIA DE LA TOXICOLOGÍA . . . . .	34
7. CHAMANES, CURANDEROS Y COMUNICACIÓN CON LOS ESPÍRITUS . . . . .	39
8. FLECHAS Y DARDOS ENVENENADOS: FACILITAR LA CAZA . . . .	41
9. DROGAS PARALIZANTES . . . . .	43
10. ENVENENAMIENTOS A LA CARTA . . . . .	45
11. ARMAS DE GUERRA Y DE TERROR . . . . .	51
12. DE LA ELECTRICIDAD A LA QUÍMICA . . . . .	54
13. LA DROGA DE LA DIOSA DE LA MUERTE Y DE LAS MUJERES BELLAS . . . . .	59
14. DE GASES NERVIOSOS A INSECTICIDAS . . . . .	61
15. CARBAMATOS, FISOSTIGMINA Y ORDALÍAS . . . . .	63
16. INTOXICACIÓN POR ANTICOLINESTERÁSICOS . . . . .	65
17. LAS MUY POTENTES TOXINAS BACTERIANAS . . . . .	68
18. DIFTERIA, ANTITOXINAS Y VACUNAS . . . . .	70
19. LOS TÓXICOS EN LAS EJECUCIONES . . . . .	73
20. SUICIDIOS Y EUTANASIA . . . . .	76

21. TOXICOLOGÍA CON CIENCIA . . . . .	80
22. ORFILA Y LA TOXICOLOGÍA MODERNA . . . . .	84
23. ARSÉNICO Y MATRIMONIO . . . . .	86
24. UNA DEFINICIÓN ACTUAL DE «TOXICOLOGÍA» Y DE «TÓXICO» . . . . .	89
25. AGENTES FÍSICOS QUE TAMBIÉN MATAN . . . . .	92
26. DESINTEGRACIÓN ATÓMICA . . . . .	96
27. LO INVISIBLE, LO INODORO Y LO INSÍPIDO . . . . .	98
28. DESTRUCCIÓN MASIVA: ARMAS NUCLEARES. . . . .	104
29. PESCA TRÁGICA. . . . .	107
30. FLECHA ROTA: CERCA DEL DÍA DEL JUICIO FINAL . . . . .	111
31. USOS CIVILES DE LA RADIOACTIVIDAD . . . . .	115
32. DDT, BIOCONCENTRACIÓN Y BIOMAGNIFICACIÓN . . . . .	116
33. DE SUCESO LOCAL A CATÁSTROFE GLOBAL . . . . .	120
34. «VER» MOLÉCULAS ORGÁNICAS CON CLORO . . . . .	122
35. UN FUNGICIDA PRODUCE UNA TRAGEDIA EN TURQUÍA . . . . .	124
36. DOSIS LETAL Y LA CALAVERA CON LAS TIBIAS CRUZADAS . . . . .	126
37. ANTISÉPTICOS MEJORADOS . . . . .	128
38. LA MOLÉCULA ARTIFICIAL MÁS TÓXICA . . . . .	129
39. TOXICIDAD DE LAS «DIOXINAS» . . . . .	132
40. SEVESO Y OTRAS CATÁSTROFES INDUSTRIALES, ALIMENTARIAS Y SOCIALES ANÁLOGAS . . . . .	134
41. TOXICOLOGÍA AMBIENTAL, CENTINELAS Y BIOMARCADORES. . . . .	139
42. TOXINAS EN MOLUSCOS MARINOS . . . . .	142
43. PECES TÓXICOS . . . . .	145
44. MERCURIO Y SÍNDROME DE MINAMATA. . . . .	146
45. PROBLEMAS CON LAS AGUAS DE BOCA . . . . .	150
46. PLOMO EN LAS ALAS . . . . .	152
47. DE RAPACES Y DE HOMBRES . . . . .	156
48. DE MATARRATAS A MEDICAMENTO SALVADOR . . . . .	160
49. FÁRMACOS: EFECTOS INDESEABLES Y TÓXICOS. . . . .	165
50. EL DRAMA DEL CASO PRACTOLOL . . . . .	168
51. ANALGÉSICOS, ANTIPIRÉTICOS Y ANTIINFLAMATORIOS . . . . .	170
52. LA TOXICOLOGÍA DEL DESARROLLO ES MÁS QUE LA «CIENCIA DE LOS MONSTRUOS» . . . . .	174
53. TALIDOMIDA: UNA TRAGEDIA HIRIENTE . . . . .	177
54. TABACO Y NICOTINA. . . . .	180
55. FUMARSE (Y CHUPARSE) LA SALUD. . . . .	184
56. ALCOHOL Y UN MÉTODO SENCILLO PARA ESTIMAR LA ALCOHOLEMIA . . . . .	188



57. ALCOHOLISMO Y METABOLISMO: ALGUNOS ASIÁTICOS LO PASAN MAL . . . . .	192
58. ABSENTA, LA «BEBIDA QUE VUELVE LOCO» . . . . .	195
59. METANOL Y OTROS ADULTERANTES EN BEBIDAS ALCOHÓLICAS . . . . .	197
60. LEY SECA, GRAN DEPRESIÓN Y EL <i>BLUES</i> DEL <i>JAKE</i> . . . . .	200
61. NEUROTOXICIDAD DIFERIDA. . . . .	203
62. EL SÍNDROME DEL ACEITE TÓXICO ESPAÑOL . . . . .	206
63. HECHOS Y ESPECULACIONES SOBRE LA CAUSA DEL SÍNDROME TÓXICO . . . . .	210
64. DISOLVENTES EN FÁRMACOS Y BEBIDAS . . . . .	215
65. DE OLOR ATRACTIVO, PERO PELIGROSO . . . . .	220
66. HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS. . . . .	222
67. TÓXICOS NITROGENADOS EN AGUA Y EN ALIMENTOS. . . . .	224
68. BEBÉS AZULES . . . . .	227
69. POLUCIÓN ATMOSFÉRICA, LLUVIA ÁCIDA Y DISOLUCIÓN DE METALES . . . . .	229
70. UN METAL LIGERO NO SIEMPRE INOFENSIVO . . . . .	230
71. EL ACEITE DE ROCA . . . . .	232
72. MAREAS NEGRAS . . . . .	236
73. AVES PETROLEADAS . . . . .	238
74. LUCHA CONTRA EL PETRÓLEO EN EL MAR. . . . .	241
75. DISEMINAR PLOMO POR LAS CIUDADES. . . . .	243
76. EL GRAN AGUJERO EN EL CIELO. . . . .	245
77. CATÁSTROFES INDUSTRIALES. . . . .	248
78. BARBITÚRICOS . . . . .	251
79. BUENAS PRÁCTICAS DE FABRICACIÓN Y DE LABORATORIO . . . . .	253
80. MICOTOXINAS . . . . .	255
81. ERGOTISMO Y BRUJAS . . . . .	257
82. LA DROGA SERENDÍPICA . . . . .	259
83. OPIÁCEOS: LA «HEROÍNA» QUE NO LO FUE TANTO . . . . .	263
84. ANTÍDOTOS, UNA MATERIA COMPLICADA. . . . .	266
85. ANTÍDOTOS CON DEMASIADA MAGIA. . . . .	269
 BIBLIOGRAFÍA BÁSICA . . . . .	 275
ÍNDICE ALFABÉTICO . . . . .	291



## Abreviaturas

- 2,3,7,8-TCDD: 2,3,7,8-tetracloro dibenzo-*p*-dioxina
- 2,4-D: ácido 2,4-diclorofenoxiacético
- 2,4,5-T: ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético
- A: adenina
- AAS: ácido acetilsalicílico
- ABV: *alcohol by volume*
- ADH: alcohol deshidrogenasa
- AINE: fármacos antiinflamatorios no esteroides
- ALDH: aldehído deshidrogenasa
- AMA: American Medical Association
- AR: *anticoagulant rodenticide*
- ASP: *amnesic shellfish poisoning*
- ATP: *adenosine triphosphate*
- BAC: *blood alcohol concentration (o content)*
- BPA: *bisphenol A*
- BTWC: Biological and Toxin Weapons Convention
- BW: *body weight* (peso o masa corporal)
- CB: carbamato
- CBRN: *chemical, biological, radiological and nuclear*
- CCD: *colony collapse disorder*
- CDC: Centers for Disease Control and Prevention
- CFC: clorofluorocarbonos
- CI: cociente intelectual
- CIA: Central Intelligence Agency
- COI: Comité Olímpico Internacional
- COX: ciclooxigenasa
- CSM: Committee on Safety on Medicines
- DDD: diclorodifenildicloroetano
- DDE: diclorodifeniletileno
- DDT: diclorodifeniltricloroetano
- DEG: dietilenglicol
- DFP: diisopropil fluorofosfato
- DNA: *deoxyribonucleic acid*
- DNOC: 3,5-dinitro-orto-cresol
- DSP: *diarrhetic shellfish poisoning*
- ECD: *electron capture detector*
- EDRF: *endothelium-derived relaxing factor*
- EE. UU.: Estados Unidos de América
- EMA: European Medicines Agency
- EMS: *eosinophilia-myalgia syndrome*

EPA: Environmental Protection Agency	MS-TOF: <i>time-of-flight mass spectrometry</i>
EtOH: etanol	NAC: <i>N-acetilcisteína</i>
FDA: Food and Drug Administration	NASA: National Aeronautics and Space Administration
GAP: <i>good agriculture practice</i>	NO <sub>x</sub> : óxidos de nitrógeno
GC/MS: <i>gas chromatography/mass spectrometry</i>	NOEL: <i>no-observed effect level</i>
GCP: <i>good clinical practice</i>	NSP: <i>neurotoxic shellfish poisoning</i>
GI: gastrointestinal	NTE: <i>neuropathy target esterase</i>
GLP: <i>good laboratory practice</i>	OC: organoclorado
GMP: <i>good manufacturing practice</i>	OMS: Organización Mundial de la Salud
HCB: hexaclorobenceno	OP: organofosforado
HPLC: <i>high performance liquid chromatography</i>	OPIDN: <i>organophosphate-induced delayed neurotoxicity</i>
IARC: International Agency for Research on Cancer	OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte
ICBM: <i>intercontinental ballistic missile</i>	PAH: <i>polycyclic aromatic hydrocarbons</i>
Icmesa: Industrie Chimiche Meda Società	PBB: <i>polybrominated biphenyls</i>
I + D: investigación y desarrollo	PBDD: <i>polybrominated dibenzo-p-dioxins</i>
IM: intramuscular	PBDE: <i>polybrominated diphenyl ethers</i>
IMW: International Mussel Watch	PCB: <i>polychlorinated biphenyls</i>
IP: intraperitoneal	PCDD: <i>polychlorinated dibenzo-p-dioxins</i>
IR: infrarrojos	PCDE: <i>polychlorinated diphenyl ethers</i>
ISSF: International Shooting Sport Federation	PBDF: <i>polybrominated dibenzofurans</i>
IV: intravenosa	PCDF: <i>polychlorinated dibenzofurans</i>
KGB: Komitjet Gosudarstvjennoj Bjezopasnosti	PCDT: <i>polychlorinated dibenzothiophenes</i>
K <sub>O/W</sub> : coeficiente de partición octanol/agua	PCP: pentaclorofenol
λ: longitud de onda	PCN: <i>polychlorinated naphthalenes</i>
LD: <i>lethal dose</i>	PCTA: <i>polychlorinated thianthrenes</i>
LD <sub>50</sub> : <i>median lethal dose</i>	PO: <i>per os</i> , por la boca, oralmente
LSD: <i>Lysergsäurediäthylamid</i>	POP: <i>persistent organic pollutants</i>
MeOH: metanol	PSP: <i>paralytic shellfish poisoning</i>
MRC: Medical Research Council	PUFA: <i>polyunsaturated fatty acids</i>
mtDNA: DNA mitocondrial	PVC: <i>polyvinyl chloride</i>
MUFA: <i>monounsaturated fatty acids</i>	RNA: <i>ribonucleic acid</i>
MS/MS: <i>tandem mass spectrometry</i>	ROS: <i>reactive oxygen species</i>

SAC: Strategic Air Command	TEQ: <i>toxic equivalent (toxicity equivalent)</i>
SC: subcutánea	TLC: <i>thin layer chromatography</i>
SIDA: síndrome de inmunodeficiencia adquirida	TNT: trinitrotolueno
SNC: sistema nervioso central	TOCP: tri-orto-cresil fosfato
SOD: superóxido dismutasa	TOS: <i>toxic oil syndrome</i>
SO <sub>x</sub> : óxidos de azufre	UE: Unión Europea
STX: saxitoxina	USAF: United States Air Force
TBT: <i>tributyltin</i>	USFWS: US Fish and Wildlife Service
TEF: <i>toxic equivalency factors (toxicity equivalency factors)</i>	UV: ultravioleta
TEL: <i>tetra-ethyl lead</i>	VOC: <i>volatile organic compounds</i>
TEPP: tetraetilpírofosfato	Z: número atómico



## Prólogo

Nacemos, crecemos, nos multiplicamos y morimos rodeados de agentes potencialmente tóxicos, tanto si somos conscientes de ello como si no. Por el mero hecho de respirar, de beber, de comer o de tomar un baño, nos exponemos a una miríada de ellos. La mayoría de personas conocen el radón, el metilmercurio y las dioxinas, y los temen (y hacen bien). No obstante, también el familiar aluminio que está en nuestras cocinas o incluso la aparentemente inofensiva agua pueden llegar a perjudicar la salud en determinadas circunstancias. Como estableció Paracelso [1493-1541], que una sustancia tenga efectos beneficiosos o tóxicos depende de la dosis. No es el único factor que interviene, pero sí el más importante. Las terribles botulinas ocupan el lugar más alto en el *ranking* de toxicidad (unos 0,0000007 g inyectados en vena podrían matar a un adulto), pero no obstante también se emplean con finalidades terapéuticas y hasta cosméticas.

Más aún, nuestras vidas cotidianas, a veces imperceptiblemente, también están influenciadas por los tóxicos, que han sido el origen de muchos asuntos que marcan nuestro modelo y estilo de vida actuales. Hoy en las ciudades han desaparecido las fábricas y los combustibles más contaminantes que alimentan las calefacciones de las casas, y esta situación se deriva directamente del *Great Smog* que asoló Londres en 1952 y que se

saldó con el fallecimiento de unas cuatro mil personas. La normativa que rige en la UE el control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas se conoce popularmente como Directiva Seveso (y vamos ya por la variante mejorada número 3, la Seveso-III), que hace referencia a esta ciudad italiana donde en 1976 se produjo un grave accidente industrial en que se liberaron dioxinas. El origen del rígido control de calidad que se ejerce actualmente en las industrias farmacéutica o alimentaria puede remontarse a un error de consecuencias trágicas ocurrido en la empresa estadounidense Winthrop en 1940, cuando un hipnosedante fue envasado, erróneamente, como un antibiótico, y causó decenas de muertes. Los blísteres en fármacos, la poco atractiva coloración de muchas cápsulas y comprimidos medicamentosos, los sellos de garantía en envases alimentarios o incluso el sistema de apertura de una botella de desincrustante (para la que casi se hace necesario haber estudiado una carrera de ingeniería) sin duda nacen de episodios como el del Tylenol® de 1982 o habiendo tenido en cuenta las innumerables intoxicaciones con fármacos, suplementos nutritivos o productos corrosivos en niños pequeños, y su innata curiosidad de probar todo lo que queda a su alcance.

Cualquier reforma que conlleve un incremento de la seguridad o que introduzca mejoras en la salud de las personas o del medio ambiente no se hace habitualmente sin coste económico (retirar el plomo en la gasolina no salió barato a nadie), así que en muchas ocasiones los legisladores se aprovechan de la favorable coyuntura que crea una reciente catástrofe o desastre tóxico para impulsarlas. Pero hacerlo también conlleva en ocasiones un coste social: tratar de evitar la repetición de trágicos episodios como el del elixir de la sulfanilamida, de la talidomida o el más reciente del Vioxx® significa incrementar la calidad y el número de pruebas experimentales exigidas antes de que un medicamento salga al mercado. Eso implica más tiempo hasta su comercialización, tiempo del que no disponen



ciertos pacientes con enfermedades para las que no existe cura y cuya única esperanza está en ese fármaco en desarrollo.

Temas del ámbito de la toxicología, y en este caso las drogas de abuso, han sido motivo incluso de enfrentamientos militares, como fue el caso de las Guerras del Opio. Para el espectador actual, puede llegar a sorprender que, bajo el paraguas de muy respetadas y respetables empresas farmacéuticas, en su momento llegaran a comercializarse productos como la Heroin® o el Delysid®, que no eran más que las marcas comerciales de la heroína y el LSD, respectivamente.

Los venenos —tóxicos empleados para atacar o defenderse— han sido utilizados no solo a pequeña escala por asesinas y asesinos (el término *asesinato* está relacionado con la toxicología), sino también por militares: las armas químicas, biológicas, radiológicas y nucleares (CBRN) de destrucción masiva son noticia recurrente en los medios de comunicación. El reciente empleo de gases nerviosos en la guerra civil declarada en Siria o la posterior concesión del Premio Nobel de la Paz de 2013 a la Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons (OPCW) son buenos ejemplos de ello.

Y algunos contaminantes, otro tipo especial de tóxicos, están siempre presentes pero cobran fuerza en determinadas situaciones. Es difícil olvidarse de ellos cuando a las mujeres embarazadas y a los niños las autoridades sanitarias o los médicos les recomiendan abstenerse de comer carne de caza capturada mediante munición de plomo, o que moderen el consumo de ciertos tipos de pescados y mariscos por su anómalo contenido en mercurio, cadmio o dioxinas.

Este libro trata de los agentes tóxicos y, por ende, de la ciencia que los investiga y los comprende mejor: la toxicología. Sin embargo, *Tóxicos* no es un exhaustivo e indigesto libro de texto al uso, sino algo bastante diferente. Sus predecesores más claros se hallan en mis tres anteriores obras de la serie *Tòxics*,

*verins, drogues i contaminants* (TVDC), publicadas en catalán entre 2008 y 2009, y en las que un profesor universitario algo cínico va poco a poco saciando la curiosidad de una alumna tan avispada como inocente. En esa misión de popularizar una toxicología que no solo se reduce a «venenos» y a «envenenamientos» —la toxicología abarca mucho más que esa minúscula aunque llamativa parte—, los TVDC cumplieron su cometido.

*Tóxicos* mantiene el espíritu divulgador que caracterizó los TVDC, de los que he reciclado muchos capítulos, aunque es más directo e introduce temas nuevos que no me fue posible abordar anteriormente. Quienes me conocen saben que llevo veinticinco años recopilando información sobre tóxicos e intoxicaciones, y que mi despacho y la biblioteca adyacente los tengo repletos hasta el techo (literalmente) de artículos y libros llenos de marcas y anotaciones. Hacer un destilado de todo ese material, seleccionándolo e hilvanándolo coherentemente, no parecía tarea fácil, pero al menos lo he intentado. Simplemente, *Tóxicos* se debe empezar a leer, y hay que dejarse llevar libremente por la corriente, a veces suave y en ocasiones vertiginosa. A buen seguro algunos capítulos interesarán más que otros al lector, y en tanto que posible todos los tóxicos que he seleccionado los ilustro con algunas intoxicaciones, envenenamientos o catástrofes tóxicas en las que se han visto envueltos. El objetivo final es dar una visión amplia del mundo de la toxicología, una ciencia de la que muchos hablan pero de la que pocos conocen su verdadera dimensión.

## Agradecimientos

El origen de este libro se halla en un correo electrónico que el director de la colección «El espejo y la lámpara», Gonzalo Pontón, me escribió para preguntarme cómo vería redactar un texto vagamente basado en mis *Tòxics, verins, drogues i contaminants*, pero más corto y con un estilo más ensayístico. Creo que tardé unos cinco minutos en responderle que encantado de hacerlo. Le estoy sinceramente agradecido por la invitación y también por sus atinadas sugerencias para mejorar la obra. Asimismo, estoy en deuda con el personal del Servei de Publicacions de la UAB, y en particular con Ester Arana, que realizó un magnífico trabajo de corrección del texto. Finalmente, no puedo por menos que agradecer las opiniones de Nuria Giménez sobre las versiones previas del manuscrito, y la inconmensurable paciencia demostrada conmigo por parte de Carme Farré y el resto de mi familia.



## 1. Génesis

En el principio hubo el Big Bang. La gran explosión ocurrió, según afirman los cosmólogos, hace cosa de unos 13.800 millones de años, y desde entonces el espacio no ha dejado de expandirse, cambiar y evolucionar. La Tierra, un pequeño planeta situado en uno de los extremos de la espiral de la galaxia que denominamos Vía Láctea, se formó hace unos 4.550 millones de años. Y la vida que conocemos, basada principalmente en el carbono y en su capacidad de formar estructuras químicas tan variadas como complejas, apareció en ella no mucho después, hace unos 3.800 millones de años.

Y con la vida puede decirse que surgieron los primeros problemas toxicológicos. Un agente tóxico, sea físico (por ejemplo radiación electromagnética como los rayos X o las radiaciones  $\gamma$ ) o químico, necesita de entes vivos para manifestar que resulta nocivo. Podemos hablar, por analogía, que un motor diesel o una parte de él se «envenena» si en lugar de gasoil le echamos gasolina al tanque en una estación de servicio, pero sin formas vivas ese motor no se hubiera construido ni nadie declarararía que tal cosa habría sucedido. La toxicología, por tanto, nació, creció y se multiplicó con la misma vida.

Pero el adjetivo tóxico sufre del lastre, científicamente hablando, de tratarse de algo relativo, subjetivo y hasta cambiante, que depende del contexto. En el complejo mundo de la toxicología, como pocos, nada es lo que parece, y los negros y los blancos puros ni se contemplan.

La misma aparición de la vida, y su evolución, pueden servirnos de ejemplo en estos momentos. Con una concentración de agua variable, la composición actual en volumen de nuestra atmósfera seca es nitrógeno ( $N_2$ ) con un 78,08%, oxígeno ( $O_2$ ) con un 20,95% y argón (Ar) con un 0,93%. Después siguen dióxido de carbono ( $CO_2$ ) con un 0,0397% (y aumentando constantemente, lo que tiene llamativas implicaciones toxicológicas), neón (Ne) con un 0,00182%, helio (He) con un 0,00052%, metano ( $CH_4$ ) con un 0,00017% y kriptón (Kr) con un 0,00011%. Con esa mezcla, admitamos que una gran parte de animales, plantas y hongos nos desenvolvemos a la perfección.

Por otro lado, la inmensa mayoría de la radiación electromagnética solar que recibe la Tierra corresponde a longitudes de onda ( $\lambda$ ) comprendidas entre los 4.000 y los 200 nm. A causa de la absorción de la atmósfera, la radiación que consigue llegar a la superficie terrestre es todavía más restringida, y se sitúa entre los 900 y los 300 nm. Teniendo en cuenta que la  $\lambda$  de la luz visible se mueve aproximadamente entre los 700 (rojo) y los 400 nm (violeta) —que conforman los extremos del espectro continuo de los colores del arco iris—, otra parte corresponde a la radiación infrarroja (IR) y el resto a la ultravioleta (UV).

La radiación IR calienta como efecto más remarcable, pero la UV es más interesante. Se halla situada entre la luz y los rayos X, concretamente entre la franja de los 400 y los 10 nm (los límites son algo convencionales, puesto que no existen fronteras definidas). Tradicionalmente se ha subdividido en cuatro zonas: A, B, C y extremo (o lejano), esta última la más energética, aunque no llega a ser tan peligrosamente ioni-

zante como sí lo son ya sus vecinos rayos X (los UV extremos son ionizantes, pero la simple presencia de aire los frena fácilmente). Los A conforman los famosos rayos UVA, que nos broncean al oscurecer nuestra piel con el pigmento melanina, y van de los 400 a los 315 nm; los UVB se extienden desde los 315 hasta los 280 nm, los UVC lo hacen desde los 280 hasta los 200 nm, y los UV extremos, de los 200 a los 10 nm. Los UVA y los UVB dañan seriamente la vista si se observan directamente —pueden producir cataratas (opacidad del cristalino o de su cápsula)—, mientras que los UVB y los UVC aceleran el envejecimiento de la piel, ya que deterioran las fibras de colágeno —pueden dar lugar a mutaciones en las células que podrían desembocar en un cáncer (en particular, el temido melanoma). Eso explica, en gran medida, que la International Agency for Research on Cancer (IARC) catalogue la radiación solar como carcinógena en su gradación más alta, la categoría I.

Nuestra actual capa de ozono ( $O_3$ ) filtra afortunadamente todos los rayos UV extremos y UVC (otros gases atmosféricos también pueden filtrar estos UV de  $\lambda$  corta), así que en la mayoría de áreas geográficas de la Tierra la carcinogenicidad del exceso de radiación solar debe adscribirse a los UVB (una pequeña parte de esta sí llega a nivel de superficie terrestre). Los UVB son a veces más efectivos en este proceso que la misma clásica radiación electromagnética ionizante; en efecto, los rayos X y  $\gamma$  suelen causar daños tan intensos que comprometen la viabilidad de la célula. Pero la cuestión es que no siempre la Tierra ha tenido la composición del aire mencionada más arriba, y en particular esto se aplica a lo referente a la presencia de oxígeno (sea en forma molecular,  $O_2$  y  $O_3$ , o atómica,  $O\cdot$ ).

Los que propusieron por primera vez que la atmósfera primitiva de la Tierra debería haber sido de tipo reductor fueron dos biólogos, el soviético Alexander Ivánovich Oparin [1894-1980] en 1923 y, poco tiempo después, el británico John Burdon Sanderson Haldane [1892-1964]. La ausencia de oxígeno