

ASPECTOS BIOÉTICOS RELACIONADOS CON LA BASURA ESPACIAL Y SUS EFECTOS SOBRE LA VIDA EN LA TIERRA Y LA EXPLORACIÓN AEROESPACIAL

BIOETHICAL ASPECTS OF SPACE DEBRIS AND ITS EFFECTS ON LIFE ON EARTH AND AEROSPACE EXPLORATION

ASPECTOS BIOÉTICOS RELACIONADOS COM O DETRITO ESPACIAL E SEUS EFEITOS SOBRE A VIDA NA TERRA E A EXPLORAÇÃO ESPACIAL

Juan Guillermo Delgado-Martínez*

Ricardo Álvarez-León**

RESUMEN

El siglo XX fue una centuria de grandes descubrimientos científicos y desarrollos tecnológicos en todas las áreas, pero en particular en lo relativo a la conquista del espacio. Durante años, la bioética fue pensada en estrecha relación con la ética médica y el ámbito de problemas específicamente humanos, pero en los últimos tiempos su sentido se ha ido ampliando. El presente trabajo busca relacionar esta preocupación por una ciencia de la supervivencia con la existencia de la llamada basura espacial o chatarra espacial que orbita la Tierra, y que en un tiempo no conocido afectará pequeñas o grandes áreas de nuestro planeta. La basura espacial se ha convertido en una preocupación cada vez mayor, especialmente en los últimos años, puesto que las colisiones a velocidades orbitales pueden producir aún más basura espacial en el proceso llamado síndrome de Kessler, o cascada de ablación, lo que perjudicaría el funcionamiento de los satélites, afectaría las misiones espaciales o pondría en riesgo la vida de los astronautas. También es probable que dicha basura se precipite sobre la Tierra, con efectos no claramente evaluados sobre la población humana. Aunque el problema suele aparecer tanto en textos científicos como en obras de ciencia-ficción, no ha sido considerado con la seriedad exigida para un riesgo real y no alejado de la vida cotidiana.

PALABRAS CLAVE: bioética; carrera espacial; basura espacial; riesgos; perspectivas; acciones correctivas (Fuente: DeCS).

DOI: 10.5294/PEBI.2018.22.1.4

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE / PARA CITAR ESTE ARTIGO

Delgado-Martínez JG, Álvarez-León R. Aspectos bioéticos relacionados con la basura espacial y sus efectos sobre la vida en la Tierra y la exploración aeroespacial. *pers.bioét.* 2018; 22(1): 39-55. DOI: 10.5294/pebi.2018.22.1.4

* orcid.org/0000-0001-9863-2206. Universidad Católica de Manizales, Colombia. jdelgado@ucm.edu.co

** Fundación Verdes Horizontes, Colombia. ricardoalvarezleon@gmail.com

FECHA DE RECEPCIÓN: 2017-08-10

FECHA DE ENVÍO A PARES: 2017-08-11

FECHA DE APROBACIÓN POR PARES: 2017-11-07

FECHA DE ACEPTACIÓN: 2018-01-15

ABSTRACT

The twentieth century was a century of great scientific discoveries and technological developments in all areas, but particularly with regard to the conquest of space. The last stretch of the millennium also witnessed two world wars and the development of atomic weapons with enormous destructive power, which made doubt many of the possibilities for the future of life on earth. At the end of his life, Albert Einstein said: “The unleashed power of the atom has changed everything except our way of thinking. So we go to a catastrophe unparalleled”. It is in this context of concern about the future of life on earth, Van Rensselaer Potter coined the term bioethics, understood as Global Bioethics, a science of survival should combine biological knowledge and human values. For years bioethics was thought closely related to medical ethics and scope of specifically human problems, but in recent years its meaning has expanded in line with the foundational approach Potter of ethics as a bridge to survival life in general. This paper seeks to relate this concern for a science of survival with the existence of the so-called space debris or space junk orbiting Earth and that once unknown, affect small or large areas of our planet. The waste consists of things as varied as large remnants of old rockets and satellites, remnants of explosions, debris or rocket components such as dust and small particles of paint. Space debris, has become a growing concern, especially in recent years, since collisions at orbital velocities can be highly damaging to functioning satellites, produce even more space debris in the process called Kessler Syndrome or waterfall ablation, but the worst would be that such wastes rush to land with not clearly evaluated effects on the human population. To illustrate a recent case of their impact on astronauts and equipment, it is the fact that the International Space Station had to be reinforced to mitigate the damage from this danger. Although the problem usually occurs both in scientific texts and works of science fiction, however it has not been considered with the seriousness required for a real risk and not away from everyday life.

KEY WORDS: Bioethics; space race; space junk; risks; perspectives; corrective actions (Source: DeCS).

RESUMO

O século XX foi um período de grandes descobertas científicas e desenvolvimentos tecnológicos em todas as áreas, mas em particular no tocante à conquista do espaço. Durante anos, a bioética foi pensada em estreita relação com a ética médica e com o âmbito de problemas especificamente humanos. Porém, nos últimos tempos, seu sentido tem sido ampliado. O presente trabalho busca relacionar essa preocupação por uma ciência da sobrevivência com a existência do chamado “detrito espacial” (ou “lixo espacial”) que orbita a Terra e que, em algum momento desconhecido, afetará pequenas ou grandes áreas do nosso planeta. Os detritos espaciais se converteram em uma preocupação cada vez maior, especialmente nos últimos anos, visto que as colisões em velocidades orbitais podem produzir ainda mais detritos espaciais no processo denominado “síndrome de Kessler”, o que prejudicaria o funcionamento dos satélites, afetaria as missões espaciais ou colocaria em risco a vida dos astronautas. Também é provável que tais detritos se precipitem sobre a Terra com efeitos não claramente avaliados sobre a população humana. Ainda que o problema costume aparecer tanto em textos científicos quanto em obras de ficção científica, o tema não foi considerado com a seriedade exigida para um risco real e próximo da vida cotidiana.

PALAVRAS CHAVE: ações corretivas; bioética; corrida espacial; detrito espacial; perspectivas; riscos (Fonte: DeCS, Bireme).

INTRODUCCIÓN

El XX fue un siglo de grandes descubrimientos científicos y desarrollos tecnológicos en todas las áreas, en particular en lo relativo a la conquista del espacio. La fotografía de Neil Armstrong en la Luna podría ser la síntesis, no solo de la carrera por la conquista espacial entre Estados Unidos y Rusia, sino de todos los avances científicos y tecnológicos de la centuria. Ocho años antes de este ícono de la tecno-ciencia, el 25 de mayo de 1961, John F. Kennedy había anunciado que Estados Unidos llevaría a un hombre a la Luna y lo traería de regreso antes de concluir la década. El presidente Kennedy fue asesinado en 1963 y no pudo ver su sueño cumplido, aunque sí lo hicieron, en cambio, gracias a la enorme difusión de la televisión, millones de personas en todo el mundo.

Junto con la ilusión por conquistar el espacio y llegar a “donde nunca nadie ha llegado antes”, como decía el lema de la tripulación de la nave futurista USS Enterprise (NCC-1701), el último tramo del milenio presencié dos grandes guerras mundiales y el desarrollo de armas atómicas con un enorme poder destructivo, lo que hizo dudar a muchos de las posibilidades de futuro de la vida sobre la Tierra. Al final de su existencia, Albert Einstein dijo: “La fuerza desencadenada del átomo lo ha transformado todo, menos nuestra forma de pensar. Por eso vamos hacia una catástrofe sin igual” (1). Es precisamente en este contexto de ilusión y preocupación sobre el futuro de la vida sobre la Tierra, que V. R. Potter acuña el término Bioética, entendida como *Global Bioethics*, una ciencia de la supervivencia que debería aunar conocimientos biológicos y valores humanos. Durante años, la bioética fue pensada en estrecha rela-

ción con la ética médica y con el ámbito de problemas específicamente humanos, pero en los últimos años su sentido se ha ido ampliando, en la línea del planteamiento fundacional de Potter, a una ética como puente hacia la supervivencia de la vida en general. El presente trabajo busca relacionar esta preocupación por una ciencia de la supervivencia con la existencia de la llamada basura espacial o chatarra espacial que orbita nuestro planeta y que, eventualmente, afectaría a la población humana sobre la Tierra. Entre las diferentes áreas de la bioética se suele distinguir una bioética general, encargada de ofrecer una fundamentación histórica, antropológica y epistemológica; la bioética especial se refiere a áreas o problemas específicos relacionados, por ejemplo, con el inicio y el final de la vida, con la sexualidad humana, entre otras, y busca aplicar los principios de la bioética general a dichos problemas.

EL RETORNO A LA BIOÉTICA DE POTTER: *GLOBAL BIOETHICS*

A pesar del éxito y la enorme difusión del término bioética (publicaciones, institutos de investigación, congresos, grados y posgrados, declaraciones, entre otros), muchas personas con formación universitaria aún no poseen una idea de a qué se dedica esta joven disciplina. Incluso para los ya iniciados es probable que los temas que vengan primero a la mente sean los del aborto, la eutanasia, la fecundación *in vitro*, entre otros, por tratarse de asuntos amplia y largamente discutidos en los medios de comunicación. La bioética, así entendida, aparece como el nuevo nombre o derivación de la tradicional ética médica, que interesaría sobre todo al personal de la salud y a quienes se preocupan por los problemas éticos asociados a la clínica y la salud pública.

Pero al inicio no era así. Cuando V. R. Potter acuñó el término bioética a comienzos de la década de 1970¹, la entendió fundamentalmente como una bioética global (*Global Bioethics*), un puente hacia el futuro que permitiría la supervivencia, no solo de la vida humana, sino de la vida en general. Como señala Elena Postigo-Solana (2): “Potter entendía la bioética como *Global bioethics*, a saber, una ética de la vida entendida en sentido amplio, que comprendiera no solo los actos del hombre sobre la vida humana, sino también sobre aquella animal y medioambiental”. Pero escuchemos a Potter (3) referirse al sentido fundacional de su expresión:

... la teoría original de la bioética era la intuición que señalaba que la supervivencia de gran alcance de la especie humana, en una civilización decente y sustentable, requería del desarrollo y del mantenimiento de un sistema ético. Tal sistema es la *Bioética Global*, basada en intuiciones y razonamientos sustentados en el conocimiento empírico proveniente de todas las ciencias, pero en especial del conocimiento biológico. En esta observación utilizo la palabra empírico en el sentido usual: el conocimiento empírico es el conocimiento basado en observaciones o experimentos que son independientemente verificables. En la actualidad, este sistema ético

propuesto sigue siendo el núcleo de la bioética puente con su extensión a la *bioética global*, en la que la función de puente ha exigido la fusión de la ética médica y de la ética medioambiental en una escala de nivel mundial para preservar la supervivencia humana.

Sin embargo, el desarrollo inmediatamente posterior de la bioética se enfocó en el ámbito clínico y de la salud humana como lo muestran los hitos que se suelen citar como constitutivos de la historia de la bioética. Por ejemplo, los experimentos de los médicos nazis con prisioneros en los campos de concentración, sin ningún tipo de consentimiento informado (aunque anteriores en el tiempo respecto al uso del término bioética, estos desmanes de los galenos en los campos de concentración serían juzgados en Nuremberg, y permitirían la aparición del llamado Código de Nuremberg que regula la experimentación médica en seres humanos. Este código, con su especial énfasis en el consentimiento informado, se suele considerar un acontecimiento fundamental en el nacimiento de la bioética), el experimento Tuskegee con población afrodescendiente afectada por la sífilis, así como los realizados en el Jewish Chronic Disease Hospital de Brooklyn con ancianos a quienes se les inyectaron células cancerígenas y el Willobrock State Hospital de Nueva York, a niños con deficiencia mental a quienes les inocularon el virus de la hepatitis. Por otra parte, el famoso modelo de una bioética principialista, aún vigente en muchos lugares, se inspiró en buena parte en el libro *Principios de ética biomédica* de Tom Beauchamp y James Childress (4) que, como su nombre lo indica, fue pensado para el ámbito biomédico. Las inquietudes y polémicas mediáticas sobre el acceso a los primeros centros de diálisis externa, así como el nacimiento en 1978 de Luisa Brown, la primera bebé probeta, parecían

1 Hoy se sabe que no fue Potter, sino el pastor alemán protestante Fritz Jahr quien usara por primera vez el término Bioética en 1926 en un artículo titulado “La ciencia de la vida y la enseñanza de la moral. Viejos descubrimientos bajo una nueva luz”. Posteriormente, en un artículo aparecido en 1927, titulado “Bio-ética: un análisis de las relaciones éticas de los seres humanos con los animales y las plantas” publicado como editorial en la revista alemana Kosmos.

CADA VEZ PARECE MÁS CLARO QUE LA VIDA Y LA SALUD DE LA HUMANIDAD NO PUEDEN SER ENTENDIDAS DE FORMA AISLADA, YA QUE EL SER HUMANO HACE PARTE DE UN COMPLEJO ECOSISTEMA DONDE LA ACCIÓN LIBRE DEL HOMBRE NO SOLO PUEDE AFECTAR LA SUSTENTABILIDAD DE OTRAS FORMAS DE VIDA SOBRE LA TIERRA, SINO TAMBIÉN LA MISMA VIDA HUMANA.

encarrilar definitivamente a la joven disciplina en los rieles de la tradicional ética médica y clínica.

Pero en las últimas dos décadas, y cada vez con más fuerza, se percibe un renovado interés de los bioeticistas allende los problemas ya referidos de la salud y la vida humana. Los manuales de bioética no hablan ya solo de aborto, eutanasia, trasplantes y sexualidad humana, sino que se ven obligados a incluir largos capítulos sobre medio ambiente, biotecnologías animales y vegetales, organismos genéticamente modificados, entre otros. El cambio climático y la contaminación asociada a hábitos consumistas de muchas sociedades, la escasez de recursos naturales como el agua, y la pérdida de biodiversidad en plantas y animales evidencia que a la intervención utilitaria y pertinaz del hombre sobre la naturaleza se debe sumar una nueva conciencia, respetuosa de los ritmos y las posibilidades de la misma. La acción del hombre en el mundo a través de la técnica no es neutra, sino que afecta a los ecosistemas, y el equilibrio de estos repercute a su vez en la salud y el bienestar de las sociedades humanas. Un ejemplo de ello es Pekín, capital de China y primer emisor de CO₂ en el mundo que se ve obligada a cerrar sus fábricas, con gran afectación económica, cuando se presenta la temida alerta roja que avisa de los altos niveles de partículas contaminantes en el aire. Esta alerta se activa cuando las partículas contaminantes

en el aire superan los 452 µgr/m³/24 h. La Organización Mundial de la Salud (OMS), por su parte, advierte que el nivel máximo recomendado es de 25 µgr/m³/24 h (5). No solo se afectan, por supuesto, la industria y la economía. El impacto más grave ocurre sobre la población. La contaminación atmosférica es la causante, anualmente, de la muerte de cientos de miles de personas en China y de millones en todo el mundo (6).

A la contaminación del aire por parte de la industria se añade su relación con el cambio climático y la consecuente afectación de las comunidades más pobres y vulnerables que no cuentan con los medios suficientes para adaptarse o hacer frente a eventuales catástrofes (7). Se pueden mencionar muchos más ejemplos referentes al acceso y calidad de agua, el abuso de los recursos naturales, la pérdida de amplias zonas de bosques, el agotamiento de reservas ictícolas, entre tantas otras, que ponen en peligro la biodiversidad del planeta y la supervivencia humana, según el original planteamiento de Potter.

Cada vez parece más claro que la vida y la salud de la humanidad no pueden ser entendidas de forma aislada, ya que el ser humano hace parte de un complejo ecosistema donde la acción libre del hombre no solo puede afectar la sustentabilidad de otras formas de vida sobre la Tierra, sino también la misma vida humana.

En ese sentido, ecología y bioética no constituirían dos disciplinas diferentes con algunos puntos de contacto, sino que más bien una incluiría la otra (7).

LOS RETOS DE LA BIOÉTICA EN LA CARRERA ESPACIAL

La película de animación *Wall-E*, de 2008, del famoso director Andrew Stanton, imaginaba el futuro del planeta Tierra, en el año 2700, lleno de escombros. Los seres humanos habían emprendido un crucero galáctico escapando de unos altísimos niveles de toxicidad, mientras que un batallón de robots, entre ellos el protagonista *Wall-E*, se encargaban de la limpieza. La especie humana, en busca de su supervivencia, habría debido escapar de la contaminación que ella misma habría producido. En una de las escenas, poco antes de que A. Stanton nos muestre qué ha sido de la raza humana, vemos despegar de la Tierra una nave llevando a bordo a Eva, la elegante robot que busca indicios de vida en la superficie terrestre, y también a Wall-E, el laborioso e inquieto recolector de basura. La nave debe hacerse paso entre cientos de satélites abandonados, escombros y residuos que cubren la tierra como una nube metálica, antes de emprender su viaje hacia el *Axioma*, nave en la que se encontraría la humanidad. Es una simple escena de una película animada, pero no está tan lejos de la realidad como podría pensarse (8).

En 1955, tanto Estados Unidos como la URSS anunciaron públicamente su intención de lanzar en los años siguientes satélites artificiales al espacio, como contribución al Año Geofísico Internacional (1957-1958). La carrera espacial fue una competencia entre Estados Unidos y la URSS, que se extendió aproximadamente desde 1957 hasta 1975. Supuso el esfuerzo paralelo entre

ambos países de explorar el espacio exterior con satélites artificiales, de enviar humanos al espacio y de posar a un ser humano en la Luna. Aunque sus raíces están en las primeras tecnologías de cohetes y en las tensiones internacionales que siguieron a la Segunda Guerra Mundial, la carrera espacial comenzó de hecho tras el lanzamiento soviético del Sputnik 1 el 4 de octubre de 1957. El término carrera se originó como analogía de la competencia armamentista. La carrera espacial se convirtió en una parte esencial de la rivalidad cultural y tecnológica entre la URSS y Estados Unidos durante la Guerra Fría. La tecnología espacial llegó a ser una arena particularmente importante en este conflicto, tanto por sus potenciales aplicaciones militares como por sus efectos psicológicos sobre la moral de la población (9).

No obstante, con la carrera espacial iniciada el siglo pasado, no solo el hombre alcanzó el espacio, lo hizo también su basura. Con la expresión *space debris* (o también *orbital debris*) nos referimos a elementos de origen humano, ya no útiles, provenientes de explosiones, colisiones o desprendimientos de cohetes o satélites viejos. En primer lugar habría que destacar lo novedoso de este tipo de basura, no era posible hablar de ella antes del siglo XX ya que el ser humano no había logrado enviar objetos fuera de la atmósfera terrestre. Es posible, entonces, datar el inicio de esta basura en la década de 1950, más exactamente en octubre de 1957, corazón de la Guerra Fría, cuando el primer satélite, el Sputnik 1, fuera enviado al espacio. Lo siguieron el Sputnik 2 y el estadounidense Explorer 1. La conquista por el espacio llegó a ser el símbolo de la competencia por el reconocimiento de la superioridad en todos los campos. Ser los primeros en enviar un objeto, un animal o a un ser humano al espacio no era una mera opción. Era la tarea fundamental. Aún hoy, objetos enviados

hace más de cincuenta años hacen su reentrada en la atmósfera terrestre: “La nave más antigua en hacer su reentrada el año pasado [2015] fue el satélite ruso de telecomunicaciones Molniya 1/42, lanzado en 1978; y el escombros de origen más antiguo que hizo su reentrada también en 2015 fue un fragmento asociado al Vanguard 3, lanzado por Estados Unidos en 1959” señala Eduardo García-Llama (10), quien trabajó en el Centro Europeo de Investigación y Tecnología Espacial de la Agencia Espacial Europea en Holanda. Con la multiplicación de satélites e investigaciones aeroespaciales esta basura ha ido en aumento y se ha convertido en una preocupación a causa de los perjuicios que podría generar en el funcionamiento de satélites, naves y misiones espaciales, además del peligro para la vida humana de los astronautas implicados. Por si fuera poco, a ello se sumaría el llamado síndrome de Kessler (11), también conocido como cascada de ablación. Este predice que la cantidad de basura espacial presente en la órbita baja terrestre, la que se encuentra entre los 200 y 2.000 km sobre la superficie de la Tierra, sería tan alta que ocasionaría una gran cantidad de colisiones, una especie de efecto dominó, multiplicando a su vez el número de escombros y dificultando aún más el uso de la órbita baja de la Tierra hasta hacerla inutilizable.

Las misiones espaciales lanzadas a la órbita de la Tierra han sido tripuladas por hombres y mujeres ampliamente entrenados para desempeñarse en el ámbito de ingravidez durante largos periodos. Las misiones no tripuladas por seres humanos, excepcionalmente han incluido animales (perros y simios), dentro de los satélites y las sondas. Han sido puestos en órbita diferentes satélites por Alemania en 1944, la URSS desde 1957 (Sputnik 2 + la perra Laika), USA desde 1958 (Programa Mercurio, Cohete Little Joe 2 + el macaco Sam), Francia desde

AÚN HOY, OBJETOS ENVIADOS HACE MÁS DE CINCUENTA AÑOS HACEN SU REENTRADA EN LA ATMÓSFERA TERRESTRE: “LA NAVE MÁS ANTIGUA EN HACER SU REENTRADA EL AÑO PASADO [2015] FUE EL SATÉLITE RUSO DE TELECOMUNICACIONES MOLNIYA 1/42, LANZADO EN 1978; Y EL ESCOMBRO DE ORIGEN MÁS ANTIGUO QUE HIZO SU REENTRADA TAMBIÉN EN 2015 FUE UN FRAGMENTO ASOCIADO AL VANGUARD 3, LANZADO POR ESTADOS UNIDOS EN 1959”.

1965 (Vesta + macaco Martine en 1967), Argentina desde 1969 (Canopus II + mono caí Juan), Japón desde 1970 (Ohsumi), UK desde 1971 (Prospero X-3), Europa desde 1979 (Spot), India desde 1981 (Rohini), Rusia desde 1982 (Cosmos 1413, Cosmos 1414, Cosmos 1415), Israel desde 1988 (Ofeq), Canadá desde 1998 (Zaryá), China desde 2001 (Shenzhou 2), Irán desde 2008 (Omid), Corea del Norte desde 2012 (Kwangmyŏngsŏng-3), y vuelos privados desde 1997 (Celestis 01). Estas misiones han tenido multitud de éxitos, de fracasos, de objetivos cumplidos parcialmente, que han marcado verdaderos hitos en la historia aeroespacial (12).

E. García-Llama calcula que habría cerca de 17.000 objetos artificiales con un tamaño igual o mayor a los diez centímetros en órbita alrededor de la Tierra (13). La mayoría de estos fragmentos provienen de explosiones y colisiones. Es probable que la mayor explosión fuera la

ocasionada intencionalmente en enero de 2007 por un misil chino al satélite –también chino– Fengyun 1C en el marco de una demostración militar, y que produjo cerca de 4.000 escombros (bastó uno solo de estos restos para inutilizar al pequeño satélite ruso Blits al golpearlo en enero de 2013). La mayor colisión accidental ocurrió dos años después, en febrero de 2009, entre dos satélites, el estadounidense Iridium 33 y el ruso Kosmos 2251, que causó cerca de 2.000 fragmentos más. Solo estos residuos orbitales conjuntos de la maniobra militar china y del accidente entre los dos satélites equivalen a un 35 % de la basura espacial mayor a 10 cm. El otro 65 % restante serían, en su mayoría, satélites, etapas de cohetes sin o con poco combustible que estuvieron destinadas a lanzar satélites, o elementos eyectados por vehículos o satélites durante su funcionamiento normal.

La historia reciente y los cálculos probabilísticos afirman que esta basura podría poner en un serio peligro el éxito de misiones espaciales presentes y futuras. Pero estos riesgos, entendidos como “disvalores posibles” (14), no solo amenazan una pluralidad de valores como los científicos, tecnológicos, económicos y políticos ligados a la exploración y conquista espacial (15); también ponen en juego la seguridad y la salud de los astronautas involucrados en estas misiones, así como la de individuos y poblaciones humanas que eventualmente se verían afectadas por las precipitaciones de algunos de estos materiales.

CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN ESPACIAL

Los satélites inservibles, las etapas y los equipos astronáuticos, o las plataformas de investigación, se pasean por nuestra órbita planetaria de forma arbitraria y sin ningún tipo de control. Cuando entran por azar –o debido al desgaste y la corrosión– en el ámbito terrestre

hacen su aparición según las normas físicas del rozamiento espacial.

1. Las explosiones de las etapas superiores de los cohetes de lanzamiento suponen la contribución más importante al problema de la basura espacial. Cerca de 100 toneladas de fragmentos generados durante aproximadamente 200 explosiones todavía están en órbita. La basura espacial se concentra más en la órbita baja de la tierra, aunque algo se extiende hacia más allá de la órbita geoestacionaria. A finales de 2003 había unos 10.000 objetos catalogados. No obstante, se estima en más de 50.000 el número de objetos mayores de un centímetro. Según la revista *Nature*, Estados Unidos tiene registrados en la actualidad más de 9.000 objetos artificiales, con un peso total que supera las cinco toneladas. La mayor parte de estos aparatos están en ruina y constituyen un gran riesgo para las misiones espaciales. En la actualidad, según el informe de la Oficina del Programa de la NASA de Restos Orbitales se estima que existen 16.602 escombros de satélites y cohetes orbitando nuestro planeta.
2. En enero 11 de 2007, los chinos lanzaron un misil balístico de rango medio desde su centro espacial de Xiang Space. Ascendió como lo que era, un cohete, y a una órbita de baja altitud –865 km– impactó contra un viejo satélite meteorológico, el *Feng Yun 1C*, que en una décima de segundo quedó convertido en 2.000 fragmentos de entre 5 y 10 cm de lado, 35.000 de alrededor de 1 cm y cerca de un millón de pedacitos de más o menos 1 mm. Esa era la misión encomendada al misil antisatélites. En esa décima de segundo, el volumen de desechos espaciales que orbitan en torno de la Tierra aumentó en cerca de un 15 %.

3. Estados Unidos y la URSS, que dominaban esa tecnología balística desde hacía tres décadas, dejaron de ensayar sus misiles en la década de 1980 precisamente para no saturar el inmenso basurero espacial en torno al planeta. El 19 de febrero de 2007, una etapa del tipo Briz-M del cohete ruso Protón lanzado un año antes en una misión fallida, y que había quedado en órbita con todo su combustible, explotó por la elevada temperatura derivada del rozamiento con la atmósfera. Un millar de grandes fragmentos, de entre 1 y 10 cm, quedó dando vueltas en torno a la Tierra.
4. La basura espacial se origina principalmente en explosiones de satélites o partes de cohetes. El desprendimiento de las distintas etapas de un cohete, como en el caso del histórico cohete Saturno V, que llevó al hombre a la Luna, también ha sido una fuente común de desperdicio. Muchas veces las baterías de los satélites estallan accidentalmente; en otros casos, satélites fuera de órbita han sido destruidos intencionalmente para evitar su entrada a la Tierra. Existe una lista de 115 misiones que han terminado en la destrucción o fragmentación de satélites, naves o cohetes, lista necesariamente incompleta por la restringida información acerca de satélites espías. Como sea, el primer registro “oficial” de la generación de basura espacial corresponde al desprendimiento de una etapa del cohete Ablestar que puso en órbita al satélite Transit 4A, el 29 de junio de 1961. Tres años después se dio la primera destrucción intencional de un satélite, el Kosmos 50, al no ser recuperado acorde a lo planeado por los soviéticos que lo pusieron en órbita. En muchas ocasiones, tanto soviéticos como estadounidenses hicieron pruebas haciendo explotar deliberadamente satélites en órbita. Eventualmente todas estas explosiones dieron lugar al problema actual de los desechos espaciales (16).
5. Todo comenzó con el Sputnik en 1957, es decir, con el lanzamiento de este satélite comenzó a generarse la basura espacial. Desde entonces se han puesto en órbita más de 5.000 satélites, los cuales, conforme van cumpliendo su tiempo de vida útil, son abandonados. Actualmente existen tres órbitas que almacenan basura: la órbita baja (LEO), la órbita cementerio (17) y la órbita geoestacionaria. La geoestacionaria es la más preocupante, pues es donde se encuentran situados los satélites, aproximadamente a 35.786 km de la Tierra (18). Se estima que hay en ella unos 3.000 fragmentos de diferentes tamaños (de entre 15 cm y 1 m) y donde se pueden hallar objetos de lo más diverso, desde una simple botella, hasta material de reparación y montaje, pasando por restos de satélites dañados o accidentados. El cohete Pegasus, por ejemplo, enviado al espacio en 1994, explotó dos años después y generó varios cientos de miles de fragmentos. Incluso los más milimétricos son sumamente peligrosos. Un diminuto fragmento de pintura que impacte el traje de un astronauta que realice un paseo espacial le causaría la muerte en el acto, ya que la mayoría de ellos viajan a varias docenas de miles de kilómetros por hora. Para un ejemplo aún más elocuente, en 1965 el astronauta Edward White perdió un guante de unos 30 cm en el espacio, el cual se desintegró en la atmósfera un mes después, pero mientras tanto estuvo viajando a 28.000 km/h, una velocidad tal, que si una nave interceptase el guante en su camino quedaría destruida. En 1979, la National Aeronautics and Space Administration de Estados Unidos (NASA) registró

que ya habían sido lanzados al espacio 11.366 objetos espaciales de los cuales 4.633 objetos, y luego unos 6.733, ya habían entrado en la atmósfera de la Tierra. Nueve años más tarde, en 1989, la Comisión Norteamericana de Defensa Aeroespacial (Norad), que tiene la capacidad de reunir objetos en el espacio del tamaño de 10 cm de diámetro, a una distancia de 500 km, registró que habían sido lanzados un total de 19.037 objetos al espacio, de los cuales unos 12.000 habían ingresado en la atmósfera terrestre. De esos objetos espaciales, que si bien constituyen un testimonio del progreso logrado en la exploración y explotación del espacio ultraterrestre, un 95 % hoy en día no funcionan, no se controlan y componen lo que se llama basura o desechos espaciales. En ese sentido, el Comité Internacional de Coordinación de Escombros Espaciales (Inter-Agency Space Debris Coordination Committee), que agrupa trece agencias espaciales de diferentes países y colectivos de países, se empeña en “avanzar en el conocimiento de la basura espacial y en desarrollar estrategias de gestión ambiental para preservar el espacio cercano a la Tierra para las futuras generaciones” (19).

LA CONTAMINACIÓN Y LA BASURA ESPACIAL

Uno de los resultados más indeseables de la carrera espacial inicialmente entre Estados Unidos y la Unión Soviética, y luego de otras naciones que poco a poco han ido entrando en esta competencia tecnológica, es la llamada basura espacial, chatarra espacial o *space debris*, es decir cualquier objeto artificial sin utilidad que orbita la Tierra. Se compone de cosas tan variadas como grandes restos de cohetes y satélites viejos, restos de explosiones, o restos de componentes de cohetes como polvo y

pequeñas partículas de pintura. En resumen, la basura aeroespacial es otro invento del hombre que también nos acorrala día a día y afecta nuestra ecología humana (20).

La basura espacial se ha convertido en una preocupación cada vez mayor en estos últimos años, puesto que las colisiones a velocidades orbitales pueden ser altamente perjudiciales para el funcionamiento de los satélites y pueden también producir aún más basura espacial en un proceso llamado Síndrome de Kessler. La primera maniobra oficial de una nave tripulada para evitar una colisión fue la del Discovery STS-48 en septiembre de 1991. Durante 7 segundos se realizó un encendido del sistema de control para evitar un posible encuentro con restos del satélite Kosmos 955. Los expertos reconocen que hacer frente a este problema es complicado y costoso, por lo que sería necesario que los investigadores idearan nuevos métodos para solucionar esta clase de problemas.

La Estación Espacial Internacional o International Space Station (ISS), que comenzó su construcción en órbita desde 1998, tuvo que ser blindada para atenuar los daños debido a este peligro. El proyecto funciona como una estación espacial permanentemente tripulada, en la que rotan equipos de astronautas e investigadores de las cinco agencias del espacio participantes –la NASA, la Agencia Espacial Federal Rusa (FKA), la Agencia Japonesa de Exploración Espacial (JAXA), la Agencia Espacial Canadiense (CSA) y la Agencia Espacial Europea (ESA)– está considerada como uno de los logros más grandes de la ingeniería. La basura espacial ha puesto en peligro a los tripulantes de la ISS. Aunque los desperdicios pasaron a 250 m, los seis astronautas que permanecían a bordo se vieron obligados a realizar maniobras de evacuación y a refugiarse en las dos naves *Soyuz* acopladas a la estación.

RIESGOS PARA LAS MISIONES ESPACIALES

La probabilidad actual de una colisión causada por la presencia de la basura espacial es muy baja. Sin embargo, no parece prudente minusvalorar este riesgo, en especial cuando, como señalan Jean-Michel Courty y Édouard Kierlik, “algunas órbitas ya comienzan a estar tan atiborradas que, antes o después, el riesgo de choque acabará siendo inaceptable” (21).

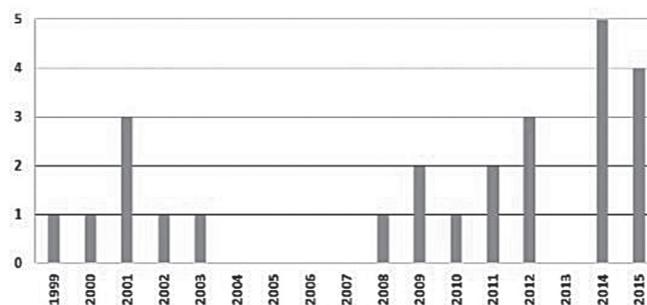
En mayo de 2016, el diario *El País* hacía eco en su edición digital del inicio de operaciones de un observatorio de asteroides, satélites y basura espacial en la montaña de Niefla, Puertollano (Ciudad Real) en Castilla-La Mancha (“Un observatorio de basura espacial comienza a operar en Puertollano”), dirigido por el astrónomo Jaime Nomen. Gian María Pinna, de la Agencia Europea del Espacio (ESA), responsable de proyecto europeo de vigilancia espacial para España, afirmaba en esta nota que: “la basura espacial es un problema muy real: necesitamos saber dónde está la basura espacial para poder mover los satélites operativos y evitar colisiones”, y añadía: “con todos nuestros satélites en órbita [...] tenemos que realizar maniobras con un par de ellos cada semana para evitar colisiones con restos de basura” (22).

También en mayo de 2016 resultó ser una gran noticia el que un minúsculo fragmento de basura espacial golpeará una ventana de la ISS. Como era un objeto muy pequeño no supuso ningún riesgo para la misión de la Estación ni para su tripulación. Vale la pena anotar que estos fragmentos que giran alrededor de la Tierra alcanzan velocidades cercanas a los 7 u 8 km/s. Si a ello se suma la consideración de la velocidad relativa, dado que es probable que el objeto impactado presente también una alta velocidad, esto explica cómo elementos tan pequeños sean tan potencialmente destructivos. ¿Qué

hubiese ocurrido si el fragmento que golpeó a la ISS tuviera un tamaño superior a los 10 cm? Se piensa que un residuo de basura del tamaño de un grano de arroz podría desestabilizar o hacer inutilizable un satélite, mientras que el impacto de un fragmento de un tamaño igual o mayor a 10 cm ocasionaría daños irreparables en el artefacto impactado o incluso su destrucción total.

Resulta significativo que la ISS haya tenido que realizar durante los años 2014 y 2015 nueve maniobras evasivas frente a una probable colisión, el mismo número de maniobras que, como lo muestra la figura 1, debió realizar durante los diez años precedentes, los que van del 2004 al 2013. Cada una de estas maniobras tarda cerca de 30 horas para ser correctamente planeada y ejecutada. No solo la ISS debió realizar maniobras evasivas: “La NASA ejecutó hasta 26 maniobras evasivas en algunos de sus satélites durante 2015, 5 de ellas para evitar posibles impactos con fragmentos del satélite chino Fengyun-1C y 8 para evitarlos con los procedentes de la colisión entre el Iridium 33 y el Kosmos 2251” (13, 23). En una de estas maniobras, el 16 de julio de 2015, la tripulación de la ISS abordó una de las naves Soyuz como precaución, ya que se informó tardíamente de un posible impacto.

Figura 1. Número de maniobras evasivas efectuadas por la ISS cada año



Fuente: NASA (10).

Además del tiempo empleado para que una nave o un satélite pueda ejecutar una maniobra evasiva, se requiere también mucho dinero. Cuando un satélite sale al espacio cuenta con un combustible limitado; maniobrar para evadir una posible colisión consume parte de ese combustible y reduce la vida útil de un satélite que puede costar cerca de 100 millones de euros. Según la Comisión Europea, “solo las maniobras para esquivar chatarra generan unos gastos de 140 millones de euros al año y ese coste ascenderá a 210 millones durante esta década debido al constante crecimiento del basurero espacial” (25).

AFECTACIÓN DE LAS PERSONAS Y COMUNIDADES EN LA SUPERFICIE TERRESTRE

Parece claro que la actual presencia de la basura espacial representa un riesgo real para el éxito de las actuales y futuras misiones espaciales, así como para el desempeño ordinario de los satélites activos. Pero ¿existe un peligro para los individuos o las poblaciones humanas sobre la superficie terrestre? Según E. García Llama se calcula que, solo en 2015, cerca de 450 residuos orbitales (satélites, etapas y escombros) habrían reentrado a la atmósfera terrestre. Como el 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, la mayoría de estos objetos, cuando no se desintegran por la fricción con la atmósfera, terminan en el mar. Además, solo un 1% de la superficie de la Tierra estaría poblada, lo que reduciría aún más las probabilidades de que un cuerpo de este tipo afecte la integridad física de los seres humanos.

En noviembre de 2015, la página web del periódico *El mundo* de España alertaba que en menos de 12 días se habrían encontrado en Murcia tres objetos de basura espacial. Se trataba de unas esferas metálicas recubiertas

de carbono que probablemente servían como depósitos auxiliares de combustible. Miguel Belló, director de la empresa privada Elecnor Deimos, responsable del observatorio de basura espacial de Puertollano, antes mencionado, dio un parte de confianza al afirmar que la probabilidad de que un guante abandonado por un astronauta o cualquier fragmento proveniente del espacio caiga sobre nuestras cabezas es menor a la de que un rayo caiga sobre un ser humano (26). Pero, entonces, ¿no hay ningún peligro para la vida sobre la tierra?

El mismo Belló afirma que un peligro real lo representan los satélites lanzados en las décadas de 1970 y 1980 que funcionaban con energía nuclear como uranio y plutonio. Ejemplo de ello es el satélite ruso Kosmos 954, lanzado por la URSS en 1977. Un fallo en el sistema provocó que el satélite reentrara al año siguiente en la atmósfera terrestre y, al caer, se esparcieron los residuos nucleares en una zona del norte de Canadá. La operación que buscaba recuperar el material radiactivo y limpiar un área contaminada de 124.000 km² se conoció como Operación Luz de la Mañana (*Operation Morning Light*). Se recuperaron doce fragmentos del satélite, la mayoría de los cuales presentaba radiactividad. Canadá pidió a la URSS más de 6.000 millones de dólares canadienses, correspondientes a los gastos de recuperación de los restos del satélite, descontaminación de sus territorios y eventuales daños, de los cuales la URSS solo canceló una mínima parte (3 millones de dólares canadienses).

Pero el Kosmos 954 no era el único satélite que funcionaba con energía nuclear en fallar. También lo hicieron los satélites rusos Kosmos 1402, el Kosmos 1900 y, por Estados Unidos, el SNAP-10 A. Se calcula que aún quedan cerca 40 de estos satélites “radiactivos” orbitando alrededor de la Tierra, cuya reentrada en la atmósfera y eventual caída sobre la superficie terrestre representan un peligro real.

Ciertamente, el peligro de la caída de basura espacial en la superficie terrestre no se compara con la amenaza que representa la caída de asteroides, ya que estos últimos pueden presentar tamaños y velocidades mucho mayores y, por tanto, su capacidad de destrucción es bastante considerable. Existen unos 20.000 objetos de más de 100 m cercanos a la Tierra, de los cuales se habrían identificado menos de la mitad. Se piensa que el famoso meteoro de Tunguska, que entró en la atmósfera de Siberia el 30 de junio de 1908 y explotó en el cielo, cerca del río Podkamenyana Tunguska, liberando una energía similar a la de 185 bombas de Hiroshima (27), tenía cerca de 37 m de diámetro. No es extraño, pues, que el reconocimiento y seguimiento de asteroides que pudieran cruzarse con la órbita de la Tierra no sea ya solo un argumento de la ciencia ficción (28), sino objeto de importantes proyectos espaciales (29).

Quizá la mayor prueba de que la basura espacial es un asunto para tener en cuenta sean las iniciativas de las agencias espaciales de distintos países (que durante décadas han lanzado y siguen lanzando satélites) para mitigar el problema; estas parecen ser las más conscientes de lo que está en juego. Entre las medidas que se proponen están algunas recomendaciones internacionales entre agencias para evitar la proliferación de basura espacial, el estudio de las reentradas atmosféricas para alertar sobre una eventual caída de restos sobre poblaciones humanas, el esfuerzo por minimizar los riesgos de explosiones en el espacio agotando la energía y el combustible residuales al final de la vida útil de los satélites, el diseño de nuevos satélites con materiales y formas que reduzcan al mínimo la cantidad de residuos de una eventual explosión o colisión, o incluso la planificación y el diseño de satélites “recolectores de basura” que serían capaces de interceptar la basura espacial para lograr su reingreso a la Tierra.

SOLUCIONES BIOÉTICAS

¿Qué puede decir la bioética frente al creciente problema de la basura espacial? No cabe duda que, de incrementarse, la presencia de residuos espaciales podría poner en peligro la vida humana y animal de diversas maneras, sea en el espacio, sea en la superficie terrestre.

Peligros para la vida en el espacio

La película de ciencia ficción *Gravity* (2013), del director mexicano Alfonso Cuarón, representa la destrucción de la ISS y la muerte de casi toda su tripulación a causa de múltiples colisiones causadas por los fragmentos resultantes de una explosión previa. Aunque resulte bastante improbable la destrucción de la ISS a causa de una colisión de este tipo (30), no se pueden desestimar los peligros de la basura espacial para la vida y salud de los tripulantes de misiones espaciales. Las crecientes maniobras evasivas o de inicio de evacuación por parte de naves tripuladas, como la de la ISS, mostrarían que la colisión con restos de basura espacial no sería solo material de ciencia ficción.

Peligros para la vida en la Tierra

Por otra parte, la vida sobre la superficie terrestre podría verse afectada por una eventual caída de restos de satélites, algunos de los cuales pueden contener radiactividad, lo que afectaría amplias zonas habitadas por seres humanos, especies animales o plantas. También se ha mencionado una posible afectación, no solo para la vida en el sentido biológico, sino entendida de forma cultural, como modo de vida. Una buena parte de los seres humanos depende de las tecnologías derivadas de los satélites para efectos de comunicación, transporte

(GPS), acceso a información, entretenimiento, fines militares, así como el seguimiento y control de fenómenos atmosféricos y naturales como incendios, huracanes, entre otros, lo que tiene repercusiones no solo en el plano cultural, sino vital. Conocer el origen, la evolución y eventual dirección de un huracán o incendio puede ser decisivo para brindar información oportuna, así como para la toma de decisiones.

La bioética, o mejor, los bioeticistas, pueden hacer un aporte considerable al informar a la comunidad sobre los riesgos de un incremento de la basura espacial, al contribuir a generar consensos y políticas que busquen reducir los lanzamientos o mitigar los impactos de la basura espacial; al estudiar y alertar sobre los eventuales efectos de la caída de restos sobre las poblaciones humanas y animales, en particular, si hubiese peligro de caída de material radiactivo.

Surgen aquí, además de las ya presentadas, muchas preguntas éticas. ¿Se debería detener por completo el lanzamiento de nuevos satélites y misiones espaciales hasta tanto no se logre una reducción significativa de la basura espacial en la órbita baja de la Tierra? ¿Es justo que algunos países que apenas inician su “carrera espacial” se inhiban de lanzar satélites al espacio, mientras que otros países pioneros de la exploración espacial cuentan con cientos de satélites funcionales? ¿Estaría obligada la agencia militar de Estados Unidos a revelar información con el fin de evitar una eventual colisión con basura espacial? ¿Es ético el uso de satélites espías por parte de algunos países? ¿Debería haber una normativa clara que regule y promueva eficazmente la reducción de basura espacial? ¿Es posible lograr un consenso en este punto cuando no existe una agencia que agrupe y regule el actuar de todas las agencias espaciales? ¿Es

ético usar energía nuclear en sondas y satélites que se envían al espacio? ¿Qué se debería hacer con los restos de satélites potencialmente peligrosos, por contener energía nuclear, que orbitan la Tierra?

CONCLUSIONES

En 1978, la bioética fue definida en la *Enciclopedia de Bioética* como un “estudio sistemático de la conducta humana en el área de las ciencias de la vida y de la salud, examinado a la luz de los valores y de los principios morales” (31). Como se ha visto, la bioética contemporánea ha dado un giro al considerar no solo la conducta humana en las específicas áreas de la vida y la salud, sino que también intenta confrontar críticamente los alcances y las implicaciones éticas sobre la vida en general y de los desarrollos científicos y tecnológicos. La conquista del espacio, y la proliferación de la basura asociada a esta empresa, bien pueden entrar en el campo de estudio de la bioética. Aunque la carrera espacial y sus residuos difícilmente podrían ser considerados como parte integrante de las ciencias de la vida y de la salud, se ha intentado mostrar cómo pueden llegar a afectar la salud y la vida, no solo de los tripulantes de las misiones espaciales, sino de las poblaciones sobre la superficie terrestre.

Es una realidad que las diferentes etapas de la carrera aeroespacial han presentado una carencia marcada de los aspectos bioéticos,³ si bien es cierto que en esas etapas se ha considerado la seguridad de los animales y de los seres humanos implicados, y, por supuesto, el aseguramiento de las inversiones económicas.

Es evidente que la preocupación propia de la bioética por el futuro de la vida no pasa solo por los dilemas y

trilemas éticos del sector clínico. En ese sentido, la bioética ha logrado entender que la misma vida humana que pretende cuidar y preservar se encuentra en relación con el equilibrio medioambiental y, por ello, prácticamente cualquier acción humana que suponga una intervención problemática con la vida entraría en su campo de estudio. En este frágil equilibrio que posibilite, por un lado, el éxito de la actividad científica y, por otro, la supervivencia de una vida siempre vulnerable frente a la acción humana, se encuentra también el espacio exterior.

La existencia y las implicaciones de la basura espacial parecen un tema poco conocido para muchos, dado el carácter aparentemente “invisible” del acontecimiento, además del hecho de que afectaría principalmente los intereses económicos y políticos de algunos Estados o empresas privadas, y no a los ciudadanos ordinarios. Esto no es del todo cierto ya que grandes sistemas de comunicación y meteorología dependen del buen funcionamiento de los satélites que orbitan la Tierra, y por tanto a esta “telépolis” (32) o tercer entorno que ha cambiado profundamente las formas de vida de las sociedades desarrolladas. Por otra parte, la basura espacial no solo afectaría el presente y futuro de la investigación espacial, sino que pone en peligro la seguridad de los astronautas en las misiones espaciales, así como la vida en la Tierra por cuenta de unas cuantas decenas de satélites que se enviaron el siglo pasado y que funcionan o funcionaron con energía nuclear que, de precipitarse a la Tierra, podrían ocasionar graves daños ecológicos en las zonas afectadas. De allí la necesidad de ponderar los

valores y disvalores en juego (los riesgos), y considerar las implicaciones futuras de la presencia y eventual aumento de la basura espacial (33).

Muchos de los problemas de salud que afrontan las tripulaciones humanas (astronautas y cosmonautas) ya se conocen. El Programa de Investigación en Humanos de la NASA ha identificado 32 riesgos de salud relacionados con el espacio que se estudian en busca de nuevos enfoques de prevención, tratamiento y mitigación. También se han establecido límites aceptables y parámetros de exposición a estos riesgos. El marco ético propuesto por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos sobre la actividad de los astronautas recalca la importancia de la decisión voluntaria y autónoma de cada uno de ellos de participar en una misión, y de la garantía de la igualdad de oportunidades y de un proceso justo en la selección de tripulaciones (34).

AGRADECIMIENTOS

A los organizadores del Tercer Congreso Internacional de Astrobiología, NASA-Astrobiology Institute/ Instituto de Astrobiología-Colombia, que se celebró en Manizales (Colombia), del 18 al 22 de octubre de 2016, que invitaron a realizar la ponencia y aprobaron la presentación en el evento; al Instituto de Astrobiología de Colombia por otorgar la beca de participación activa del primer autor, y a la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC) por la beca de participación activa al segundo autor.

Conflicto de intereses: ninguno declarado.

 REFERENCIAS

1. López-Quintás A. La palabra manipulada. Madrid: Rialp; 2015.
2. Postigo-Solana E. Bioética personalista: ciencia y controversias. En: Tomás y Garrido G Postigo-Solana, E. Concepto de bioética y corrientes actuales. Madrid: Ediciones Internacionales Universitarias; 2007.
3. Potter VR. Bioética puente, bioética global y bioética profunda. Cuadernos del Programa Regional de Bioética OPS/OMS. 1998; 7. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/215707369/Van-Rensselaer-Potter-Bioetica-puente-Bioetica-global-y-Bioetica-profunda>
4. Beauchamp TL Childress JF. Principios de ética biomédica. Barcelona: Masson; 1999.
5. Organización Mundial de la Salud. Reglamento sanitario internacional. 2ª ed. Ginebra: OMS; 2005.
6. Agencias DPA / EFE. Diario El Comercio. Se registra el nivel de contaminación más grave del año en Pekín. 4 de marzo (11:15). 2016. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/tendencias/nivel-contaminacion-pekín-china-alerta.html>.
7. Sarmiento-Medina PJ. Bioética y medio ambiente: introducción a la problemática bioético-ambiental y sus perspectivas. Persona y Bioética. 2001;5(13-14):6-35.
8. Cinemanet. WALL-E Batallón de limpieza [visitado 2017 abr 29]. 2008. Disponible en: <https://www.cinemanet.info/2008/12/wall-e/>
9. De la Torre C. Acontecimientos y personajes históricos de la década de los 60. La carrera espacial. En: La EGB. Recuerdos de mi infancia en los años 60 y 70. [visitado 2016 oct 12]. Disponible en: <http://yofuiaegb.blogspot.com.co/2016/10/yofui-egb-recuerdos-de-los-anos-60-y-70-carrera-espacial.html>
10. García Llama E. El preocupante aumento de la basura espacial. El Mundo. 2016. Disponible en: <http://www.elmundo.es/blogs/elmundo/apuntesnasa/2016/05/17/el-preocupante-aumento-de-la-basura.html>
11. Kessler DJ. Collisional cascading: The limits of population growth in low earth orbit. Advances in Space Research. 1991;11(12):63-66.
12. Wikipedia. Lista de todas las misiones espaciales lanzadas. 2016 [visitado 2017 abr 27]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/anexo:misiones_espaciales
13. García-Llama E. Sobre la basura espacial. 2016. Disponible en: <http://www.investigacionyciencia.es/blogs/tecnologia/35/posts/sobre-la-basura-espacial-14225>
14. Echeverría-Ezponda FJ. Ciencia y valores. Barcelona: Ediciones Destino; 2002.
15. Gutiérrez P. ¿Por qué la basura espacial podría dejarnos aislados del espacio exterior? 2012. Fayer Wayer, Columna.
16. Navarro C. ¿Qué es la basura espacial? ¿Cuál es su origen? ¿Por qué es importante deshacerse de la basura espacial? 2015. Disponible en: [https://medium.com/@KisshanNavarro/basura-espacial-341e644b4c72#.c0oojo9dy\)20](https://medium.com/@KisshanNavarro/basura-espacial-341e644b4c72#.c0oojo9dy)20)
17. Oliveira J. La órbita en la que se “entierran” los satélites artificiales. 2017. Disponible en: https://elpais.com/elpais/2017/07/11/ciencia/1499764731_013050.html
18. Kelso TS. Conceptos básicos de la órbita geoestacionaria. Satellite Times. 1998 [visitado 2017 abr 29]. Disponible en: <http://celestrak.com/columns/v04n07/>
19. Krag H. The Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC). An overview for the IADC annual activities. 2017. Disponible en: http://www.iadc-online.org/index.cgi?item=docs_pub
20. Álvarez-León R. La basura aeroespacial, otro invento del hombre que también nos acorrala día a día y afecta nuestra ecología humana. XX Congreso Internacional Ciencia y Vida. Universidad Libre Internacional de las Américas, ULIA / Universidad Católica de La Plata (UCDLP). República Argentina. “La vida humana y la preservación de la casa común”. La Plata (Argentina), agosto 3-6 de 2016 [visitado 2017 abr 29]. Disponible en: www.ucalp.edu.ar, www.ulia.org

21. Courty JM, Kierlik E. Limpieza electromagnética del espacio. ¿Cómo eliminar la chatarra espacial del entorno terrestre? *IyC*. 2015;465:86-87.
22. Rivera A. Un observatorio de basura espacial comienza a operar en Puerto Llano. 2016 [visitado 2017 abr 29]. Disponible en: https://elpais.com/elpais/2016/05/14/ciencia/1463243430_919708.html
23. Stansbery G. NASA's Orbital Debris Program Office. Briefing to the NASA Advisory Council; 2016.
24. García Lama E. Sobre la basura espacial. *IyC*. 2016. [visitado 2016 dic 8]. Disponible en: <http://www.investigacionyciencia.es/blogs/tecnologia/35/posts/sobre-la-basura-espacial-14225>
25. Europa busca voluntarios para combatir la basura espacial. 2013 [visitado 2016 oct 12]. Disponible en: <http://esmateria.com/2013/03/19/europa-busca-voluntarios-para-combatir-la-basura-espacial/> 19 de septiembre de 2016.
26. Guerrero T. Los riesgos de la basura espacial. *Diario El Mundo*. 2015 [visitado 2016 feb 14]. Disponible en: <http://www.elmundo.es/ciencia/2015/11/17/564a31f0ca474187228b4640.html>
27. NASA Beta. El evento de Tunguska – Cien años después. 2008 [visitado 2016 oct 12]. Disponible en: https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2008/30jun_tunguska/
28. Killer Asteroids. Impact: Earth, what are the odds? 2010. [visitado 2017 may 17]. Disponible en: <http://www.killerasteroids.org/>
29. Center for Near Earth Object. Top News Stories [visitado 2017 may 17]. Disponible en: <http://neo.jpl.nasa.gov/>
30. Delgado-Martínez JG, Barriga LF. La vida es bella. Entrevista con Benjamín Virgil-Bastida [visitado 2017 mar 19]. Disponible en: <http://lvidaesbellaradioucm.blogspot.com.co/2017/03/houston-hay-un-basurero-alla-afuera.html>
31. Reich W. *Enciclopedia de Bioética*, vol. I. New York; 1978.
32. Echeverría-Ezponda FJ. *Telépolis*. Barcelona: Ediciones Destino; 1994.
33. Echeverría-Ezponda FJ. Los riesgos de la globalización. En: Luján-López JL, Echeverría-Ezponda FJ (eds.). *Gobernar los riesgos. Ciencia y valores en la sociedad del riesgo*. Madrid: OEI, Biblioteca Nueva; 2004.
34. Rivera A. Ética ante los riesgos que corre un astronauta. *El País*. 2014 [visitado 2016 oct 12]. Disponible en: https://elpais.com/sociedad/2014/04/07/actualidad/1396897124_486543.html

FILMOGRAFÍA

1. Cuarón A. *Gravity* [película]. Warner Bros. Pictures. Estados Unidos; 2013.
2. Stanton, A. *Wall-E*. [película]. Walt Disney Pictures. Pixar Animation Studios. Estados Unidos; 2008.