

# Turismo Espacial y sus potenciales impactos sobre el ambiente terrestre

LICENCIATURA EN TURISMO  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Hernán González Ghirimoldi | Director: Alejandro Di Bernardi | 14/6/2019  
[hgonzalezghirimoldi@hotmail.com](mailto:hgonzalezghirimoldi@hotmail.com)  
Legajo: 86563/3



---

## **Índice**

Capítulo 1 – Marco estructural .....	5
Introducción.....	5
Tema de Investigación .....	6
Fundamentación del estudio del tema .....	6
Objetivo general .....	7
Objetivos específicos .....	7
Metodología a emplear.....	7
Pregunta central del trabajo .....	9
Criterios de análisis .....	9
Capítulo 2 - Introducción.....	10
Desarrollo sostenible.....	10
Sostenibilidad Ecológica .....	12
Turismo .....	12
Motivaciones de los Turistas .....	13
Contexto actual del Mercado de Servicios General y el Mercado Turístico en particular .....	15
Turismo Sostenible.....	16
Turismo Ecológico.....	17
Turismo Espacial.....	18
Definición y Clasificación.....	18
Síntesis de la historia del Turismo Espacial .....	19
Los viajes turísticos espaciales realizados hasta la fecha .....	21
Referencia de estudios del mercado potencial .....	23
Empresas oferentes de vuelos suborbitales .....	26
Los vehículos del Turismo Espacial y sus combustibles.....	28
Turismo Espacial sostenible.....	32
Turismo Espacial Ecológico .....	34
Principales centros espaciales alrededor del Mundo .....	34
Australia .....	35
Woomera.....	35
Brasil.....	35
Alcántara .....	35
China .....	36



Jiuquan.....	36
Xichang 36	
Taiyuan 36	
Wenchang .....	36
Europa .....	36
Kourou 36	
India .....	37
Satish Dhawan .....	37
Japón .....	37
Uchinoura .....	37
Tanegashima .....	37
Rusia y la Unión Soviética.....	37
Cosmódromo de Baikonur .....	37
Plesetsk.....	38
Svobodny .....	38
Estados Unidos .....	38
Estación de la Fuerza Aérea Cabo Cañaveral.....	38
Centro Espacial Kennedy.....	38
Mojave 38	
Spaceport America (Turismo Espacial) .....	38
Vandenberg.....	39
Wallops 39	
Sitio de prueba Ronald Reagan.....	39
Cantidad de Vuelos por Centro Espacial en el 2017 .....	42
Emplazamiento Seleccionado .....	42
<b>CAPÍTULO 3 – DESARROLLO .....</b>	<b>43</b>
Principales contaminantes generados por la operación de vuelos espaciales .	43
Gaseosos- Aspectos Generales .....	43
Acústicos- Aspectos Generales.....	45
Sólidos- Aspectos Generales .....	46
Líquidos- Aspectos Generales .....	47
Las principales fuentes de contaminación y otros contaminantes contemplados	
.....	48
Introducción.....	49
Contaminación por desprendimiento de etapas de los vehículos espaciales.....	52
Afectación sobre el medio antrópico y natural de la contaminación derivada de la operación de vehículos espaciales en centros de lanzamiento .....	56
Aspectos generales.....	56



Afectaciones ambientales generales en los sitios de lanzamientos- Caso testigo: Cosmódromo de Baikonur .....	61
Principales Agentes Contaminantes detectados .....	66
Caso particular 1: Como combustible y/o producto de combustión: Dimetilhidrazina Asimétrica .....	67
Efectos sobre el ambiente.....	69
Caso particular 2: Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	72
Efectos sobre el ambiente.....	72
Integración – Turismo espacial.....	73
Variación de los tipos de contaminación mencionados con la inserción del Turismo Espacial en las actividades espaciales comerciales.....	75
<b>CAPITULO 4 – CONSIDERACIONES FINALES.....</b>	<b>81</b>
Observaciones, conclusiones, y recomendaciones .....	82
Futuros trabajos .....	86
Bibliografía de referencia .....	86
Tabla 1 Motivaciones de los turistas.....	14
Gráfico 1. Estudio de mercado de Tauri.....	24
Gráfico 2. Estudio de mercado de Astrium-IPSOS.....	24
Gráfico 3. Lanzamientos históricos de China.....	40
Gráfico 4. Lanzamientos históricos de la Agencia Europea. ....	40
Gráfico 5. Lanzamientos históricos de Rusia.....	41
Gráfico 6. Lanzamientos históricos de Estados Unidos.....	41
Gráfico 7. Cantidad de Lanzamientos por Centro Espacial en el año 2017.....	42
Gráfico 8. Emisiones de gases del Transporte Espacial en comparación con otras fuentes de gases.....	79
Figura 1. Vehículo Falcon Heavy de SpaceX.....	30
Figura 2. Vehículo SpaceShipTwo de Virgin Galactic.....	31
Figura 3. Vehículo New Shepard de Blue Origin.....	32
Figura 4. Centros Esapaciales alrededor del mundo.....	35

---



## **Capítulo 1 – Marco estructural del trabajo**

### **Resumen**

El presente escrito parte de un análisis de los principales riesgos y efectos negativos que genera la actividad en Centros Espaciales y como consecuencia de los lanzamientos de vehículos espaciales para extrapolar dicho análisis a una investigación particular de un sitio de lanzamiento seleccionado como punto de comparación. A partir de estos resultados se busca arribar a una conclusión de los impactos ambientales que generaría la actividad de aeronaves que realicen viajes al espacio con fines turísticos teniendo en cuenta los tipos de combustibles y vehículos utilizados por la oferta existente y la regularidad de los vuelos que abastecerían a la demanda actual.

### **Introducción**

Hace más de 10 años la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio (NASA por sus siglas en inglés), afirmó que la tecnología para facilitar el desarrollo del turismo espacial estaba, en su mayor parte, establecida. Además, un estudio realizado en 1998 por la NASA y la Asociación de Transporte Espacial sugirió que el turismo se convertirá en el mayor uso comercial del espacio en el futuro cercano (Spector, 2017).

En la actualidad, el avance de la tecnología y el ingreso de nuevas compañías privadas están abriendo camino a un crecimiento sin precedentes en las actividades comerciales en el espacio. Empresas como Virgin Galactic y Blue Origin han desarrollado tecnología en vehículos espaciales reutilizables para la realización de vuelos suborbitales con fines turísticos. La primera de las compañías mencionadas ya ha vendido más de 700 boletos desde el anuncio del desarrollo de sus vehículos, y en febrero de 2019 concretó con éxito el primer vuelo trasladando un pasajero de su aeronave SpaceShipTwo, y los viajes con turistas espaciales están previstos para julio del año 2019. Asimismo, la empresa SpaceX planea llevar un grupo de turistas espaciales a dar una órbita a la Luna para la obtención de fondos adicionales que sirvan de financiamiento complementario para su principal proyecto de llegar a Marte.

Con el ingreso de nuevas compañías del ámbito privado que ofrecen boletos a menos del 1% de lo que ha costado el último viaje al espacio realizado por parte de un civil, la demanda se ha visto incrementada en varias veces su tamaño, así como lo demuestra la enorme cantidad de boletos vendidos por parte de Virgin Galactic, pudiendo alcanzar el público demandante de estos vuelos los 85.000 para el año 2030. Esto sin duda acarreará que los viajes realizados con regularidad incrementen los niveles de residuos y contaminantes generados a nivel mundial si no son neutralizados a través de algún método. Sin duda, el ambiente terrestre se verá afectado ante esta situación, por lo que las medidas de mitigación, la intervención de las entidades públicas y el uso de tecnología ecológica serán fundamentales para evitar que esta actividad genere daños irreversibles a largo plazo, convirtiéndose en una actividad insostenible.

Existen antecedentes del desarrollo de prácticas insostenibles, en los comienzos de la era espacial, en la década de los 50 y 60 del siglo XX en donde la falta de previsión en



la construcción de Centros Espaciales, plataformas de lanzamiento y el uso de combustibles altamente tóxicos debido a su posible efecto cancerígeno en humanos, como la Dimetilhidrazina Asimétrica, han dejado las zonas de los complejos espaciales que más lanzamientos realizaban, degradadas en su ambiente natural.

Asimismo, aunque las emisiones de Dióxido de Carbono representan tan sólo el 1% de las emisiones totales derivadas de las actividades aeronáuticas, el incremento en la cantidad de lanzamientos anuales de aeronaves espaciales podría desencadenar un incremento en los porcentajes relativos de las emisiones totales generadas a nivel global. Esto como consecuencia, podría producir perjuicios en la atmósfera terrestre causados por este gas de efecto invernadero, lo que promueve el sobrecalentamiento de las zonas altas de nuestro planeta. Ante esta situación resulta de interés identificar y medir aproximadamente los efectos adversos que el Turismo Espacial puede provocar en el ambiente donde se desarrolle para evitar de manera preventiva, un mayor deterioro del entorno. Así, la realización de esta actividad partiría de una planificación que prevea los posibles impactos y desarrolle los instrumentos para mitigarlos

En el presente trabajo se plantea la pregunta ¿Cómo se puede llevar a cabo el Turismo Espacial de manera sostenible? que considera que a pesar de los beneficios que el turismo puede traer, esta actividad acarrea consigo ciertos riesgos para el ambiente terrestre. Dicho esto, la presente investigación se propone identificar los principales residuos generados por la actividad de vehículos espaciales y las principales fuentes generadoras de contaminación para luego concluir qué prácticas son las más sostenibles para el desarrollo de las actividades de aeronaves espaciales.

Por un lado, se toma un Centro Espacial como caso ejemplar para el análisis de los principales impactos ambientales que derivan de las actividades de vehículos espaciales a gran escala, bajo el supuesto de 1.000 vuelos anuales. Por otro lado, se expone y se analiza cuáles serían los incrementos en las cantidades de contaminantes generados a partir de la inserción de los viajes turísticos al espacio de forma intensiva a partir de la consideración de cada vehículo de Turismo Espacial analizado.

Esta tesis de grado toma, como base teórica del plan de estudios de la carrera de Licenciatura en Turismo de la Universidad Nacional de La Plata, la asignatura Crecimiento económico y Medio Ambiente, desde donde nace la perspectiva del análisis de los impactos ambientales de las actividades turísticas.

### **Tema de Investigación**

El tema de estudio en este trabajo se relaciona con la identificación de los principales impactos potenciales derivados de la actividad del Turismo Espacial, que podrían tener un efecto adverso sobre el medio antrópico y natural del planeta tierra.

En este contexto el presente trabajo se denomina:

Turismo Espacial y sus potenciales impactos sobre el ambiente terrestre

### **Fundamentación del estudio del tema**

El turismo espacial es una nueva modalidad de viajes de ocio y esparcimiento que está creciendo y adentrándose en el mercado global. Ante esto, es importante analizar los aspectos ambientales de esta industria, ya que ciertos componentes de los combustibles utilizados, la emanación de gases de efecto invernadero a la atmósfera de la Tierra, y los residuos sólidos y líquidos remanentes de la operación de las aeronaves, entre otras problemáticas hacen suponer que se trata de una actividad que conllevará ciertos impactos ambientales que deben ser analizados y evaluados en caso de llevarse a cabo



operaciones a grandes escalas, como en el caso de 1.000 vuelos anuales, parámetro que se utiliza como referencia en este escrito.

A través de los aportes de este trabajo se podrá indagar y ampliar los conocimientos existentes en materia de los impactos ambientales del turismo espacial. El desarrollo de un trabajo académico relacionado a los viajes espaciales desde un enfoque turístico puede aportar una perspectiva inexistente hasta el momento. Esta orientación expone, entre otros aspectos, las distintas etapas que atraviesa un destino y una industria turística, por lo que conociendo que el turismo espacial se encuentra en una fase inicial, a través de este análisis se puede proveer la información necesaria para que esta nueva modalidad de viajes se desarrolle de manera sostenible desde el principio.

Hasta la fecha los estudios en relación al Turismo espacial son limitados y no tienen en consideración nuevos avances tecnológicos que han tenido lugar recientemente. Asimismo, nueva bibliografía en relación a esta temática permite promover e impulsar el conocimiento en este sector, que resulta desconocido para el público en general.

Asimismo, un análisis del Turismo Espacial, desde el punto de vista de la sostenibilidad de la actividad, aporta información que escasea actualmente. A partir de este encuadre, surgen de este escrito aportes sobre los efectos negativos de la emisión de gases, y contaminación por basura espacial asociado a residuos de combustibles a partir de los desprendimientos de las aeronaves. Esto puede ser de gran utilidad para la industria del turismo espacial al momento de realizar un estudio de impacto ambiental.

Adicionalmente, surgen como consecuencia de lo expuesto en este trabajo algunas recomendaciones básicas para evitar y mitigar los principales residuos y contaminantes generados a partir de las actividades en los centros espaciales.

Considerando los argumentos anteriormente mencionados, se opta por desarrollar el presente trabajo, siendo el mismo de interés del autor y en el cual se ha optado por el enfoque de la sostenibilidad, perspectiva que resulta de vital importancia en el desarrollo de cualquiera actividad turística.

### **Objetivo general**

El objetivo general de este trabajo es estudiar los potenciales efectos negativos sobre el ambiente derivados del turismo espacial con el fin de mitigar o neutralizar dichos efectos adversos para poder desarrollar de manera sostenible esta actividad.

### **Objetivos específicos**

- Conocer y evaluar potenciales demandas de este tipo de servicios.
- Conocer y evaluar los diferentes centros espaciales distribuidos alrededor del mundo
- Conocer y caracterizar los diferentes tipos de vehículos utilizados y sus diferentes combustibles.
- Conocer y evaluar los posibles impactos ambientales

### **Metodología a emplear**

Teniendo en cuenta:



- El propósito de este trabajo que se relaciona con abordar la temática de la sostenibilidad en el marco de los vuelos espaciales suborbitales con propósitos turísticos.
- Que la disponibilidad de estas publicaciones académicas se encuentra restringida a aquellas que son accesibles desde los buscadores de trabajos académicos de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de La Plata, Argentina y de las disponibles en la web.
- El alcance exigido por la normativa vigente de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina, el desarrollo del presente trabajo se encuentra acotado a la extensión exigida por la normativa de esta casa de estudios.

Se procede a:

- En primera instancia, recopilar exhaustivamente, analizar y procesar diversas fuentes bibliográficas. Se opta principalmente por aquellas fuentes académicas de los últimos 6 años basadas en los recientes avances tecnológicos en materia de vehículos espaciales.
- Revisar y adoptar definiciones, de acuerdo a la perspectiva de este trabajo, sobre sostenibilidad, sostenibilidad ecológica, turismo, turismo sostenible, turismo sostenible ecológico, turismo espacial, turismo espacial sostenible y turismo espacial sostenible ecológico
- Recopilar y analizar los resultados de los principales estudios de mercado del turismo espacial publicados en los últimos años.
- Adoptar las tendencias del mercado sobre la temática estudiada.
- Identificar los principales vehículos espaciales utilizados
- Identificar los principales combustibles utilizados
- Buscar y analizar los principales centros espaciales mundiales en la actualidad.
- Seleccionar un centro espacial como referencia para ser analizado. Se toma un centro espacial como caso ejemplar que resulte representativo y posea características comparativas de manera de que los resultados obtenidos permitan entablar una aproximación a lo que sucedería en el caso de otros centros espaciales. Asimismo, se tiene en consideración que dicho centro posea un nivel recurrente de actividad de vehículos espaciales y se trate de lanzamientos tripulados. Al mismo tiempo, el centro que es caso de estudio se encuentra localizado en un ecosistema particularmente vulnerable para obtener resultados de un caso extremo, estableciendo un escenario pesimista para arrojar datos de los impactos más graves que tendrían lugar en el ambiente circundante a un complejo espacial.
- Exponer los principales residuos generados por la actividad de naves espaciales que se destacan, ya sea por su presencia en cantidad o por su nivel de toxicidad.
- Identificar y analizar los efectos negativos generados en el ambiente del centro seleccionado, a partir de las actividades de vehículos espaciales llevados a cabo en este sitio.
- Estimar, exponer y analizar las variaciones en la emisión de los residuos mencionados con la inserción del turismo espacial a las actividades de vehículos espaciales.
- Extrapolar el análisis de las variaciones en las emisiones de residuos derivadas de la inserción del Turismo Espacial al mercado global, al análisis de los efectos negativos en el ambiente del caso del centro seleccionado.



- Se finaliza el trabajo con las observaciones, conclusiones y recomendaciones finales que integran métodos para evitar y mitigar los efectos negativos de la actividad turística espacial sobre el ambiente terrestre

Esta metodología se la considera la más adecuada para la realización de este escrito ya que a través de una recopilación de estudios de campo llevados a cabo en el centro espacial seleccionado, y formulando un análisis con esos datos, se pueden extrapolar los resultados a un segundo análisis relacionado al turismo para arribar a una conclusión que permita enunciar proyecciones acerca de los potenciales impactos ambientales de la modalidad turística de foco de estudio de este trabajo. Las investigaciones seleccionadas pertenecen a universidades y órganos académicos de prestigio, lo que les otorga confiabilidad en los datos aportados. Asimismo, siguiendo con lo establecido por los principales órganos internacionales expertos en la materia, el trabajo se encuadra dentro del marco teórico que dichos órganos promulgan, lo cual le agrega un soporte bibliográfico fehaciente.

### **Pregunta central del trabajo**

La pregunta central del trabajo es: ¿Cómo se puede llevar a cabo un Turismo Espacial Sostenible?

Este cuestionamiento alude al hecho de que el desarrollo de esta tipología de turismo se pueda llevar a cabo de una manera compatible con el ambiente, siendo su tasa de consumo de recursos menor a la tasa de renovación de los mismos, sus impactos sobre los ecosistemas menores que las tasas de renovación de los mismos y que la capacidad de asimilación del ambiente de los residuos tampoco sea excedida.

A lo largo de este trabajo se intentará dar respuesta a esta pregunta basado en el supuesto de que la inserción del Turismo Espacial al mercado internacional dará como resultado un aumento en los niveles de contaminación.

### **Criterios de análisis**

Los criterios utilizados para la realización de este trabajo se basaron en los peores escenarios posibles en el desarrollo de la actividad de vehículos espaciales. Se han seleccionado como referencia los vehículos lanzadores más utilizados en la actualidad, así como también las aeronaves que serían utilizadas para el desarrollo de la actividad turística espacial.

Por otro lado, se hace referencia a los dos tipos de combustibles generales como lo son el líquido y el sólido. Se expone sus impactos sobre el ambiente y los componentes de estos que resultan más nocivos.

Por último el trabajo se centra en los principales centros de lanzamiento desde donde se podría suponer que se realizarían los lanzamientos del turismo suborbital. El trabajo desarrolla en varias instancias los efectos ambientales en el centro espacial Baikonur, debido a que este ha sido el que ha alojado los lanzamientos de los 9 turistas espaciales que existen hasta el momento. Además, este centro espacial es uno de los más activos en el mundo, y en donde se han desarrollado numerosos estudios científicos evaluando el impacto de los vehículos espaciales en la región.



## **Capítulo 2 - Introducción**

Se pueden destacar tres problemáticas principales que presenta el Turismo Espacial, si se excluye el asunto de desarrollo tecnológico y se abarca las cuestiones que se pueden analizar desde la Licenciatura en Turismo:

- Cuestiones políticas, es decir que se relacionan con las políticas de los Estados que en muchos casos deciden desestimar las entidades dedicadas al estudio científico y desarrollo de tecnología espacial.
- Problemas legales, debido al vacío legal existente en torno a las actividades espaciales a causa de la falta de una normativa clara y ampliamente aceptada que regule dichas actividades.
- Problemas ambientales que pueden surgir como consecuencia del desarrollo de actividades de vehículos espaciales y relacionados con el espacio exterior.

Este escrito se enfoca sólo en la última de las tres problemáticas mencionadas anteriormente, quedando las dos primeras para posibles futuros trabajos.

Como se ha mencionado, uno de los principales argumentos en contra del desarrollo de la actividad del Turismo Espacial son las cuestiones ambientales, este trabajo se centra en el análisis de las principales problemáticas que se pueden presentar ante el desarrollo de esta actividad de manera masiva.

Para comenzar este trabajo, primeramente se debe tener una concepción general de la sostenibilidad para obtener un mejor entendimiento de los contenidos de este escrito. Así, el concepto de la sostenibilidad es el eje conceptual desde donde nace la perspectiva ambiental y la consideración de los impactos en el medio ambiente de una actividad económica como lo es el Turismo Espacial.

Para hablar de sostenibilidad, se debe mencionar el concepto de desarrollo sostenible, el cual se procede a desarrollar en el siguiente apartado.

### **Desarrollo sostenible**

El término desarrollo sostenible tuvo su primera aparición en la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo en el año 1987 (informe Brundtland), en donde se acuñó el término definido como aquel que posibilite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas (Bengochea et al., 2006) (Rossi, 2015).

En 1992 se celebró la Cumbre de Río en donde se desarrolló la Declaración de Río que contiene los 27 principios del desarrollo sostenible. Asimismo, se confeccionó la Agenda 21, la cual añade aportes prácticos a la Declaración (Rossi, 2015). Esta Conferencia de las Naciones Unidas de 1992 agrega el factor social al concepto de sostenibilidad, aludiendo que para conseguir un desarrollo sostenible se debe operar de manera respetuosa con el entorno social, ambiental, además de la viabilidad económica (Bengochea et al., 2006).

Rossi (2015) menciona que es luego de dicha Cumbre que se afianza la sostenibilidad como el nuevo modelo de desarrollo. Aunque destaca que las definiciones dadas hasta ese momento presentaban algunas falencias. Una de las críticas que expone Rossi (2015) al informe de Brundtland es que si bien se puede interpretar esta definición dada



como un concepto avanzado con miras a un desarrollo ligado a la justicia social, la preservación ambiental y la implicación política, también se lo puede analizar desde una mirada conservadora en donde sólo se le agrega el factor ecológico al concepto de crecimiento económico. Asimismo, la autora plantea que en las definiciones dadas, el concepto de necesidades presenta cierta vaguedad, ya que todas las personas poseen distintas necesidades y éstas estarán sujetas al contexto en el que está inmersa cada comunidad. Por lo tanto, el concepto está relacionado al consumo de recursos naturales renovables y no renovables, desde su valorización económica, pero sin duda las necesidades humanas en la actualidad responden a aspectos de índole inmaterial como lo son los factores sociales, culturales e institucionales. De este modo, el concepto fue acuñado con el propósito de apuntar a que el crecimiento económico se podía llevar a cabo sin afectar el ambiente de forma irreversible (Rossi, 2015).

Otro planteo que hace la autora precitada, se relaciona con que cada actor defiende su postura con respecto al desarrollo sostenible en base a su realidad y su interpretación de los hechos, y que resulta legítima, pues cada actor defiende sus propios intereses. De esta forma, tanto el empresario que percibe un área natural como una despensa, el sindicalista como un supermercado, el preservacionista como un laboratorio y el indigenista que la percibe como un museo.

Paralelamente, en el año 2015, las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, con el objetivo de que los países de todo el mundo unan esfuerzos en mejorar la vida de los habitantes (ONU, recuperado 3/10/2018). En dicha Agenda se exhiben los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible los cuales son:

1. Fin de la pobreza
2. Hambre cero
3. Salud y bienestar
4. Educación de calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
7. Energía asequible y no contaminante
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumo responsables
13. Acción por el clima
14. Vida submarina
15. Vida de ecosistemas terrestres
16. Paz, justicia e instituciones sólidas
17. Alianzas para lograr los objetivos

Dentro de este órgano, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) con el objetivo de crear una fuente de información científica objetiva. En el Quinto Informe de Evaluación confeccionado por esta entidad se concluye categóricamente que el cambio climático es real y que las actividades humanas están entre sus principales causas (IPCC, 2017) (ONU, 2018).

De esta forma, se puede observar que el concepto de desarrollo sostenible presenta una interacción de suma importancia con la preservación de la naturaleza y con las



prácticas ecológicas. En relación a estas últimas prácticas mencionadas se habla en el siguiente apartado.

## **Sostenibilidad Ecológica**

Una vez revisado el concepto general de desarrollo sostenible cabe enfocarse en la cuestión ecológica. Esta dimensión de la sostenibilidad es particularmente interesante a los fines de este trabajo para establecer una base teórica desde donde partir para estudiar los potenciales efectos negativos sobre el ambiente derivados de las actividades que conciernen al Turismo Espacial.

En referencia a ello, la autora Rossi (2015) cita las conceptualizaciones expuestas por Guimarães (2002) en relación a las dimensiones del desarrollo sostenible. Este último autor menciona cuatro dimensiones: la sostenibilidad ecológica, la sostenibilidad ambiental, la sostenibilidad social y la sostenibilidad política. Desde el alcance de este trabajo interesan las primeras dos dimensiones mencionadas por el autor.

En primer lugar, la dimensión de la sostenibilidad ecológica del desarrollo es conceptualizada por el autor como el soporte físico que permite el crecimiento, así como también, la manutención del inventario de recursos naturales dentro de las etapas productivas. El autor clasifica los recursos naturales en dos tipos: En primer lugar, los renovables, donde la tasa de consumo de dichos recursos debe ser menor o igual a su tasa de recomposición. En segundo lugar, en recursos no renovables, donde su consumo debería ser menor o igual a la tasa de sustitución de dichos recursos teniendo en cuenta el período de tiempo de su agotamiento.

En segundo lugar se encuentra la dimensión ambiental, en donde se considera la capacidad de absorción y regeneración del ecosistema a partir de los desechos producidos por los humanos. De esta forma, la tasa de consumo de estos recursos debería ser menor o igual a la capacidad de absorción y recomposición del ambiente.

Otra postura expuesta por Rossi (2015) es la de Gallopin (2003), quien plantea un concepto de sostenibilidad intermedio a la dimensión social y natural, nombrada por el autor como el sistema socio-ecológico total, que está conformado por un componente social que interactúa con un componente ecológico, que puede ser urbano o rural.

De esta manera, en la sostenibilidad ecológica se toma en consideración la interacción de una actividad con el ecosistema circundante, tanto lo que la actividad toma de la naturaleza, en la utilización de los recursos naturales, como lo que la naturaleza recibe de la actividad, como pueden ser los residuos resultantes y la capacidad del ecosistema de absorberlos y asimilarlos.

## **Turismo**

Luego de haber establecido un marco teórico en relación a la sostenibilidad que permita tener una mayor comprensión de las temáticas a exponer en este escrito, cabe abocarse al sector turístico, al cual se intenta dar una caracterización genérica a partir de algunas definiciones que se citan. De este modo, se puede proveer una comprensión general de las dos disciplinas principales que interactúan en este trabajo.

Existen muchas aproximaciones teóricas que intentan llegar a una definición del turismo. Debido a su complejidad, muchos autores difieren en la conceptualización de esta actividad.

El órgano global encargado de la regulación de las actividades turísticas, la Organización Mundial de Turismo provee la siguiente definición:



“El turismo comprende las actividades que realizan las personas durante sus viajes y estancias en lugares distintos al de su entorno habitual, por un período de tiempo consecutivo inferior a un año con fines de ocio, por negocios y otros” (Organización Mundial del Turismo, 2008, p. 46) (como se cita en García, 2012).

Según (García, 2012) esta definición de la Organización Mundial del Turismo resulta de utilidad por las siguientes razones:

- A. Es una definición universalmente validada por todos los países que integran la Organización Mundial del Turismo y por el sector empresario de esta Organización.
- B. Conformar la base para el desarrollo de las Cuentas Satélites del Turismo.
- C. A nivel descriptivo, existe un acuerdo académico con respecto a la misma.

Esta definición posee una gran utilidad para los datos estadísticos, aunque incluso ahí presenta algunas deficiencias, pero no consigue conceptualizar correctamente la actividad turística, ya que no tiene en consideración otras variables que inciden en esta práctica. Sin embargo, permite dar una aproximación para el análisis de los efectos del turismo sobre una economía.

En el marco académico, se puede destacar la definición provista por Hiernaux (2002), donde el autor plantea una definición más precisa, desde el punto de vista de este trabajo, teniendo en cuenta las distintas disciplinas que entran en juego en el sector turístico.

El autor define al turismo como un proceso societario que se originó en el mundo occidental a partir del siglo XIX y en forma masiva durante la segunda mitad del siglo XX. Este proceso surgió de una redefinición de los tiempos sociales, de tal forma que las poblaciones de los países denominados desarrollados tienen ahora la posibilidad, en su gran mayoría, de emprender viajes fuera de su lugar de residencia habitual e inclusive de pernoctar en sitios de su agrado, donde pueden realizar actividades recreativas que les satisfacen y regeneran sus energías y su desgastada fuerza de trabajo. Este proceso societario está caracterizado, además, por sus profundos efectos en la economía a escala tanto macro como microeconómica, así como también a escala macro y microespacial. Asimismo, incita cambios sociales en los lugares de destino, tanto como en los lugares de donde provienen los turistas. Partiendo de imaginarios construidos paulatinamente a lo largo del transcurso del tiempo de la práctica turística, este proceso social es también responsable de profundos cambios en las sociedades de todo el mundo, donde se ha desarrollado de manera extensiva e intensiva, tanto en los países desarrollados donde se originó, como en países en vías de desarrollarse que se han convertido tanto en lugares receptivos como emisivos en torno al turismo, participando así, en forma trascendental en la evolución de este proceso societario.

Esta conceptualización provee una aproximación más abarcativa del turismo ya que incluye las perspectivas provenientes de distintas disciplinas como la sociología, la economía y la historia. Desde el enfoque de este trabajo, la definición dada por Hiernaux (2002) se considera más acertada que la definición aportada por la OMT, desde el punto de vista conceptual, ya que toma en consideración las distintas disciplinas que involucra el turismo.

### **Motivaciones de los Turistas**

Luego de haber repasado algunas conceptualizaciones del turismo, un aspecto que cabría resaltar, dentro de esta actividad son las motivaciones de los turistas. ¿Qué motivación tendría y qué impulsaría a un turista a querer realizar un viaje al espacio?.



En este apartado se procede a analizar brevemente las principales motivaciones que incentivan a los turistas a realizar distintos tipos de turismo. Esto se ve más al detalle también en el apartado de los análisis de mercado.

La (OMT, 1998) hace una clasificación de las motivaciones generales de los turistas. Esta es:

<p><b>Educación y cultura</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Cómo vive y trabaja la gente de otros lugares.</li><li>2. Para visitar monumentos, vistas y piezas de arte.</li><li>3. Para comprender mejor los acontecimientos actuales.</li><li>4. Para asistir a eventos especiales, culturales o artísticos.</li></ol>
<p><b>Relajación, aventura y placer</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Escapar de la rutina diaria y de las obligaciones.</li><li>2. Para visitar nuevos sitios, gente o buscar nuevas experiencias.</li><li>3. Para pasarlo bien.</li><li>4. Tener alguna aventura romántica o sexual.</li></ol>
<p><b>Salud y esparcimiento</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Descansar y recuperarse del trabajo o estrés.</li><li>2. Practicar deporte y ejercicio.</li></ol>
<p><b>Familia y amigos</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Visitar los lugares de donde procede la familia.</li><li>2. Visitar amigos y parientes.</li><li>3. Pasar tiempo con la familia y los niños.</li></ol>
<p><b>Esnobismo</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Poder hablar de los lugares visitados.</li><li>2. Porque está de moda.</li><li>3. Para demostrar que uno puede permitírselo.</li></ol>

**Tabla 1. Motivaciones de los turistas.** Fuente: Moutinho, 1987, p. 17 (como se cita en OMT, 1998).

Según el estudio realizado por Reddy et al. (2012) las principales motivaciones que incentivan a los potenciales consumidores del Turismo Espacial son: La vista de la Tierra desde el espacio, la sensación de ingravidez, y la naturaleza inusual de la experiencia. Asimismo, las contestaciones de los encuestados se inclinaron por considerar al aspecto científico de la experiencia como poco importante.

De este modo considerando la tabla de motivación provista por la OMT, se observa desde la óptica de este trabajo, que las principales motivaciones encajan en la categoría de aventura y esnobismo. En el caso de los turistas que han realizado viajes al espacio, el sentido de exclusividad conformó, sin lugar a dudas, un incentivo para los turistas, para llevar a cabo dicho viaje. Del mismo modo, como se mencionó anteriormente, la característica inusual y aventurera del viaje también conforma una de las principales



motivaciones que movilizan a los turistas a querer adentrarse en un lugar tan poco explorado por la humanidad como lo es el espacio exterior.

Por otra parte, a partir de estas motivaciones se pueden identificar muchas modalidades de turismo en la actualidad (Navalón, 2013), entre las que se destacan:

- Individual;
- De masas (turismo de sol y playa);
- Cultural (urbano, monumental, arqueológico, funerario, de compras, etnográfico, literario, de formación, gastronómico, enológico, industrial);
- Natural (rural, ecoturismo, agroturismo, ornitológico, ictioturismo, cinegético);
- Activo (parques temáticos, deportivo, aventura, religioso, espiritual, místico, termal o de salud, medico, social, experiencial, itinerante);
- De negocios (reuniones y congresos, seminarios y convenciones, entre otros);
- Turismo espacial (relacionado con el espacio y los planetas). Del cual se ocupa este trabajo.

Se puede observar que definitivamente uno de los mayores atractivos de realizar un viaje turístico al espacio es su excentricidad y el exotismo que presenta esta experiencia, lo cual tiene una relación directa con el esnobismo y la búsqueda de nuevas aventuras inusuales y extremas. En el siguiente apartado se desarrolla el contexto de mercado en el que se encuentra inmersa esta actividad.

### **Contexto actual del Mercado de Servicios General y el Mercado Turístico en particular**

A partir de la definición de turismo adoptada para este trabajo, resulta necesario proveer de un contexto al lector del mercado en el que se desenvuelve el turismo.

A partir del incremento de la competencia en el sector de servicios global, la innovación tecnológica ha transformado a este sector, y dentro del mismo la actividad turística. Por lo que para prosperar, un oferente debe tener en claro las diferencias entre su producto o servicio innovador, y las necesidades del mercado (Chang, Y. W, 2015).

Dentro del sector de servicios, se encuentra la industria turística. El turismo a escala global es una industria de mil millones de dólares estadounidenses, representando un 7% de las exportaciones mundiales y contribuyendo significativamente al PBI mundial. Los arribos internacionales y los ingresos por turismo han venido creciendo en un porcentaje anual de entre 3 y 5 %, sobrepasando el crecimiento del comercio internacional y superando en 2016 los 1.200 millones de US\$ (Lenzen et al., 2018).

Adicionalmente, en el mercado actual, los clientes buscan nuevas experiencias (Simonato, 2009, p.172), en lo cual, el Turismo Espacial tiene mucho que ofrecer. Akiyama (1993) (como se cita en Chang, Y. W, 2015) un periodista japonés y el primer civil en viajar al espacio afirmó, “observar la Tierra es muy especial, ya que el sentimiento es más que sólo apreciar la belleza, es una experiencia psicológica”. Este es uno de los principales aspectos destacados por los astronautas que han viajado al espacio, y por los potenciales clientes quienes lo manifiestan en los principales estudios de mercados realizados en relación al turismo espacial (algunos de los cuales se citan más adelante).



En lo que respecta al mercado turístico de la actualidad, con la aparición de internet, los límites y barreras geográficas han desaparecido, conectando el mundo y acortando las distancias como nunca antes. Al mismo tiempo, la información circula a un ritmo sin precedentes y está al alcance de cualquier persona, haciendo que el turista pueda llegar a conocer lugares antes impensados. Estos nuevos avances, han hecho que en el mercado sea el consumidor quien manda y son las empresas quienes se adaptan a sus requerimientos y pretensiones (Chang, Y. W. 2015).

En adición, de acuerdo a los datos adquiridos por Future Foundation, los consumidores ahora perciben las vacaciones como su bien de lujo número uno. Esto se ve impulsado por la prosperidad de dichos consumidores y por la asequibilidad de los productos (Chang, Y. W, 2015). Los demandantes, priorizan las vacaciones antes que comprar una casa, coches veloces, perfumes caros y ropa de alta calidad (Chang, Y. W, 2015).

En lo que concierne a la industria aérea en particular, las aerolíneas *low-cost* representan la cúspide de la adaptación tecnológica, agilizando los viajes y permitiendo que los costos en términos reales sean los más bajos de los que se tiene registro (Chang, Y. W, 2015).

Finalmente, de acuerdo a los dichos de Chang Y. W. (2015) en relación al Turismo Espacial, el autor alude que debido a que los viajes espaciales para la realización de turismo aún son un producto no consolidado en el presente, y asimismo, forman parte de construcciones provenientes de grandes entidades, como lo es la Estación Espacial Internacional (ISS por sus siglas en inglés). Según el autor, se requiere aún de varios años de desarrollo para que estos tipos de viajes se consoliden en el mercado.

En contraposición a los dichos de Chang (2015) como se ve a lo largo de este trabajo, esta modalidad de viajes turísticos está más cerca de los predicho por este autor, e incluso durante el transcurso del 2019 podrían tener lugar nuevos viajes turísticos espaciales, como los viajes que se espera que realice la empresa Virgin Galactic a mediados del año 2019.

## **Turismo Sostenible**

Hasta el momento, se ha hablado de la sostenibilidad y del turismo. En este apartado se procede a combinar ambos conceptos, ya que estos son los pilares que dan soporte teórico a este trabajo.

La Organización Mundial del Turismo (OMT) define el turismo sostenible como aquel que satisface las necesidades de los turistas en la actualidad así como también las de la comunidad receptora sin comprometer las oportunidades para el futuro. Este tipo de desarrollo turístico se entiende como el manejo de recursos de manera de que se puedan atender las necesidades de índole económica, estética y social, preservando la diversidad biológica, respetando la cultura y los sistemas que sustentan la vida (OMT, 1999).

En 1995 se celebró la Conferencia Mundial del Turismo Sostenible en donde se redactaron los 18 principios de la Carta del Turismo Sostenible de los que Bengochea et al. (2006) destaca los primeros dos párrafos:

«El desarrollo turístico deberá ser soportable ecológicamente a largo plazo, viable económicamente y equitativo desde una perspectiva ética y social para las comunidades locales»



«El turismo tendrá que contribuir al desarrollo sostenible, integrándose en el entorno natural, cultural y humano».

A partir de esta definición Bengochea et al. (2006) define el turismo sostenible como aquel que utiliza los recursos de manera tal que permite perpetuar la actividad sin afectar la utilización de los recursos de las generaciones futuras. En cierta forma, el grado de sostenibilidad de la actividad turística en un lugar tendrá que ver también con el grado de sostenibilidad ambiental propio de la actividad (Bengochea et al., 2006).

El turismo genera una serie de impactos ambientales negativos (Bengochea et al., 2006). La Declaración de la Haya en 1989 también expone esta idea al manifestar que «La integridad del medio natural, cultural y humano es condición fundamental del desarrollo del turismo, así como la necesidad de promover una planificación integrada del desarrollo turístico que se fundamente en la noción de desarrollo duradero» (citado por Bengochea et al., 2006).

Así, se puede apreciar que la sostenibilidad en el turismo engloba varios aspectos y no sólo aquellos de índole económica, sino que también se ocupa de las facetas sociales y ambientales de manera de que la actividad turística se pueda desarrollar en un determinado lugar a largo plazo sin dañar o comprometer la integridad socio-ambiental de manera irreversible.

### **Turismo Ecológico**

Una vez repasado el concepto de Turismo Sostenible cabe adentrarse más específicamente en la parte ecológica. Como se hizo mención al inicio de este trabajo, este escrito se centra en la Sostenibilidad Ecológica, por lo que interesa desde esta perspectiva proveer una aproximación teórica del Turismo Ecológico.

El turismo ecológico es usualmente referenciado como ecoturismo. El autor Bengochea et al. (2006) conceptualiza a esta rama del turismo como una serie de actividades que se caracterizan por el uso respetuoso de los recursos naturales, siendo estos últimos los que configuran el principal atractivo para los consumidores que se interesan por esta modalidad turística. El mismo autor menciona otra definición del término como aquel tipo de turismo que se enfoca en aminorar los impactos ambientales, en la preservación de los ecosistemas y en la generación de ingresos para las comunidades locales.

Generalmente, las variables que son referenciadas en las conceptualizaciones del ecoturismo son los espacios naturales y su conservación, la cultura, la educación y los beneficios para las comunidades locales, como menciona Fennell (2003) citado por Bengochea et al. (2006).

La OMT y el Programa de las Naciones Unidas confeccionaron un documento donde se reseñan las características generales del ecoturismo. Esta descripción hace referencia a toda modalidad de turismo que incluye la naturaleza, elementos educacionales, organizada en general por empresas pequeñas mayormente locales, que se enfoca en aminorar los impactos negativos sobre el entorno natural y sociocultural y que contribuye a proteger las zonas naturales (Bengochea et al. , 2006).

De este modo, revisando los conceptos de lo que configura un turismo sostenible y ecológico, se observa que las bases de estas clases de turismo se conforman por su interacción compatible con la comunidad local y el ambiente natural.



## **Turismo Espacial**

A partir de la perspectiva aportada sobre el Turismo ecológico, es preciso adentrarse en la modalidad turística específica que concierne a este escrito, por lo que se procede a continuar con una exposición de las definiciones del Turismo Espacial aceptadas desde la perspectiva de este trabajo.

### **Definición y Clasificación**

El turismo espacial, es definido por (Chang, Y. W, 2015), como el viaje espacial con propósitos de búsqueda de novedad, recreación, ocio y conocimiento en el espacio. Y aunque por el momento parece un sueño lejano para la mayoría de las personas, se está volviendo una posibilidad concreta (Chang, Y. W. 2015).

Otra definición que se puede considerar es:

«Cualquier actividad comercial que ofrezca a los clientes una experiencia directa o indirecta con los viajes espaciales» (Rueda Carazo, 2015).

Cabe considerar qué tipo de distinciones pueden enmarcarse en torno a la clasificación de la modalidad de viajes turísticos al espacio exterior. Según Toivonen (2017) se puede clasificar al turismo espacial de la siguiente manera:

- El turismo espacial terrestre: Involucra determinados sitios de turismo espacial en la Tierra, como por ejemplo recorridos en las instalaciones del Centro Espacial Kennedy en los Estados Unidos, y sitios no relacionados con el turismo espacial como pueden ser juegos virtuales, viajes vinculados con películas relacionadas al espacio, viajes por eclipses, entre otros.
- El turismo espacial atmosférico: Actualmente se relaciona con vuelos de *jets* a grandes alturas, por encima de los 20 kilómetros, como lo son los vuelos con el *MIG* ruso y vuelos para experimentar ingravidez con la compañía Zero G.
- El Astro Turismo: Se desarrolla tanto en la órbita terrestre como fuera de la misma.

De acuerdo a Carter et al. (2015) el turismo espacial terrestre está bien establecido, con visitas a las atracciones relacionadas al espacio, y visitas a los sitios de lanzamiento, mientras que el Astro Turismo, como lo denomina el autor, por el momento, ha estado restringido a unos pocos turistas de la élite, con viajes a la Estación Espacial Internacional. Sin embargo, de acuerdo a lo manifestado por los autores Davenport (2015) y el autor mencionado Toivonen (2017), el punto de partida para el comienzo de la actividad del Astro Turismo comercial está más cerca que nunca.

Por otro lado, se pueden diferenciar cuatro tipos de Turismo Espacial, siguiendo lo propuesto por (Chang, Y. W. 2015):

- Viajes con aviones de combate a gran altitud (para simular vuelos de gravedad cero)
- Vuelos atmosféricos de gravedad cero (simulando vuelos a gravedad cero)
- Vuelos suborbitales de corta duración (turismo suborbital),
- Y vuelos orbitales de mayor duración en el espacio (turismo orbital)

Los vuelos suborbitales, son aquellos en los que se centra este trabajo debido a que se presentan como la modalidad de viajes más factible a realizarse con fines turísticos en el futuro cercano, en una escala de una década, desde el año de publicación de este escrito. Un vuelo suborbital es aquel que alcanza los 100 km de altura, traspasando el límite entre la atmósfera terrestre y el espacio exterior (llamada línea de Kármán), y en



donde el vehículo no alcanza la velocidad necesaria para volar alrededor de la Tierra sin caer de nuevo hacia el planeta por la fuerza gravitatoria. De este modo, un vuelo suborbital no llega a dar una vuelta completa al planeta, y reentra luego de pocos minutos de haber alcanzado la micro gravedad (Rueda Carazo, 2015).

Por otra parte, cabría pensar cómo podría definirse al turista espacial. Aunque este es un tema extenso, que quedará para futuros trabajos, una aproximación teórica del turista espacial podría ser aquel que viaja por o al espacio o a algún cuerpo celeste sólo con fines recreativos (Rueda Carazo, 2015).

Ante las definiciones dadas, es notable que esta modalidad turística presenta un componente distintivo por darse en un entorno extraterrestre (ya que literalmente se da fuera de la Tierra, traspasando el límite hacia el espacio exterior) y por depender de avances tecnológicos muy recientes en la historia de la humanidad, y que en algunos casos sólo en el tiempo reciente se han terminado de desarrollar.

### **Síntesis de la historia del Turismo Espacial**

A partir de las definiciones y clasificaciones dadas, es necesario aportar un contexto histórico al lector para que este pueda lograr un mejor entendimiento del Turismo Espacial, a través de una revisión del surgimiento de este nuevo sector turístico.

Los vuelos espaciales tienen sus orígenes en los comienzos de la era de la aviación, la cual comenzó en diciembre de 1903 cuando los hermanos Wright volaron con éxito una máquina voladora más pesada que el aire en Kitty Hawk, Carolina del Norte, Estados Unidos. Hasta ese momento sólo se habían realizado vuelos con el uso de gases más livianos que el aire, como los globos aerostáticos (Webber, 2013).

Fue el mismo año del éxito de los Hermanos Wright, en 1903, cuando Konstantin Tsiolkovsky en Rusia escribió su documento seminal "Investigación de los Espacios Mundiales por los Vehículos Reactivos", en el que desarrolló las ecuaciones de los vehículos espaciales (Webber, 2013).

De esta manera, comenzaron los esfuerzos de la humanidad para hacer realidad sus deseos de volar, primero sobrevolando a la altura de los vuelos de los pájaros y luego abandonando la Tierra para adentrarse en el espacio exterior. Es así como el vuelo espacial de pasajeros ha tardado poco más de un siglo antes de que fuera una realidad (Webber, 2013).

En la aviación, era necesario que los aviones viajaran a velocidades cada vez mayores y a distancias y altitudes más y más elevadas. Los pioneros fueron logrando nuevos desarrollos tecnológicos y así, de a poco se fueron sumando los primeros pasajeros que se sentaron en un avión Wright. Cabe agregar que los primeros aviones de pasajeros eran ruidosos, sujetos a vibración, frío y muy costosos. Sólo las personas de mayor poder adquisitivo y los privilegiados podían ser pasajeros de las líneas aéreas, algo que se asemeja a lo que está sucediendo actualmente con los primeros vuelos de Turismo Espacial (Webber, 2013).

Charles Lindbergh fue la primera persona en cruzar el Océano Atlántico sin paradas y piloteando solo, en el año 1927, volando desde Nueva York a París. Tan sólo unos pocos años después, en el año 1944 ya era posible para cualquier persona que contara con el dinero, viajar en la comodidad de los aviones de pasajeros. El mismo Lindbergh años después fue testigo de los viajes espaciales, incluso conoció a los astronautas de Apolo que caminaron sobre la Luna (Webber, 2013).



Max Valier y Fritz von Opel diseñaron y volaron el primer vehículo espacial ya en el año 1929, y durante la Segunda Guerra Mundial ya se encontraba operando la nave Messerschmitt Me 163 Komet. Luego, en 1947, el Bell X-1, fue el primero en romper la barrera del sonido, volado por Chuck Yeager. Las primeras naves experimentales dieron el gran paso volando más rápido y más lejos de lo que se había logrado antes. El X-15 norteamericano (uno de cuyos pilotos era Neil Armstrong, primer ser humano en pisar la Luna) superó los 800 kilómetros por hora. Asimismo, también durante la Segunda Guerra Mundial, el motor a reacción fue inventado, lo que posteriormente hizo posible los viajes aéreos de larga distancia (Webber, 2013).

En 1957, Sputnik 1 abrió una nueva era para la humanidad. En abril del año 1961, ocurrió el primer viaje al espacio de la historia, cuando el ruso Yuri Gagarin completó una órbita de la Tierra en la nave espacial Vostok. Los primeros vehículos espaciales, como Vostok y la cápsula estadounidense Mercurio, tenían poco control una vez que estaban en órbita, y sólo podían llevar a una persona a la vez. A medida que la tecnología fue avanzando, fue posible maniobrar en órbita y ensamblar naves espaciales con otras que ya estaban en el espacio (Webber, 2013).

La nave estadounidense Gemini, la cual tenía capacidad para llevar una tripulación de dos personas, fue la que aportó la tecnología necesaria para los aterrizajes del Apollo Moon al poder llevar a cabo un ensamblaje en el espacio. Este tipo de acoplamiento sería luego necesario, por ejemplo, para que los turistas espaciales llegaran a la Estación Espacial Internacional a fines del siglo XX y principios del siglo XXI (Webber, 2013).

Estas naves espaciales de primera generación eran todavía demasiado pequeñas para ser utilizadas para el turismo espacial, aunque el desarrollo posterior del Vostok ruso (del que se basó la nave espacial Soyuz con capacidad para 3 personas) ya se ha utilizado para ese propósito. Simultáneamente con los desarrollos de vuelos espaciales, se dio el comienzo de la era del espacio comercial, particularmente con el negocio de telecomunicaciones por satélite (Webber, 2013).

El sistema de propulsión Soyuz continúa utilizándose hasta el día de hoy para transportar tripulaciones hacia y desde la Estación Espacial Internacional (ISS). Los nueve viajeros espaciales comerciales han utilizado el Soyuz para sus viajes en órbita, comenzando con Toyohiro Akiyama en 1990 y terminando con Guy Lalibert en 2009. Uno de ellos (Simonyi) incluso hizo dos viajes. Por lo tanto, el turismo espacial orbital se ha convertido en un hecho establecido, con viajes inicialmente a la estación espacial Mir, y posteriormente a la ISS. Cuando Akiyama voló, fue sólo 29 años después de que Gagarin realizara el primer vuelo hacia el espacio (Webber, 2013).

Al igual que con la aviación, los primeros vuelos fueron muy caros, y los precios de los billetes para los viajes con el sistema Soyuz han aumentado de inicialmente alrededor de \$US 20 Millones a \$US 60 Millones hoy. Pero un camino hacia el turismo espacial menos caro (el 0,33% de lo que costaría hoy un vuelo a la ISS en el Soyuz) se está abriendo, con las nuevas empresas que ofrecen vuelos suborbitales como el caso de Virgin Galactic (Webber, 2013).

Posteriormente, en el siglo XXI, el ingeniero de pruebas de vuelo Burt Rutan, de la Base Edwards de la Fuerza Aérea, California, utilizó el acercamiento del avión de cohete (una nave madre lleva un vehículo a unos 40.000 pies, se deja caer, dispara su motor durante unos minutos hacia arriba y aterriza como un planeador cuando el combustible del vehículo se ha agotado) cuando decidió competir por el Premio X-Prize Ansari de \$ 10 millones de dólares estadounidenses en el año 2004. El SpaceShipOne de Rutan ganó el premio al ser la primera nave espacial civil, en ir al espacio, regresar, y luego repetir



la hazaña una semana después. Ahora se exhibe en el pasillo principal en el National Air and Space Museum del Instituto Smithsonian en Washington DC. Se encuentra en exposición al lado de la Bell X-1, que abrió las puertas hacia un nuevo mundo de posibilidades al originar este nuevo tipo de transporte que combina los atributos de la aviación y los vehículos espaciales (Webber, 2013).

El punto de partida de la industria del turismo espacial se dio con el viaje realizado por el multimillonario Dennis Tito a la Estación Espacial Internacional. Tito, realizó este viaje, en el año 2001, a bordo de la nave espacial rusa Soyuz, concertando el acuerdo con Rusia. Sin embargo, no fue Denis Tito el primer turista espacial, ya que el primer vuelo comercial fue llevado a cabo por el periodista japonés Tayohiro Akiyama en el año 1990, luego de que se depositara la suma de 25 millones de dólares estadounidenses. Akiyama visitó la MIR, estación espacial rusa, durante 8 días. A éste, le siguió la química británica Helen Patricia Sharman, quien pasó una semana en la estación espacial rusa (Arribas Fernandez.s.f.) (Seedhouse, 2014). Esto se profundiza más en el siguiente apartado.

No obstante, fue el viaje realizado por Tito, el que obtuvo mayor repercusión en los medios, y el que desató las mayores críticas, posiblemente porque la estancia se llevó a cabo en la Estación Espacial Internacional, la cual no era propiedad enteramente del Estado que patrocinaba el viaje, como era el caso de la MIR, sino que es propiedad de varios Estados (Arribas Fernandez.s.f.) (Seedhouse, 2014).

Sin embargo, como se comenta más adelante en este trabajo, el turismo espacial no se perfila como una práctica turística sólo para un reducido segmento de personas con fortunas multimillonarias. Compañías como Virgin Galactic, prevén ofrecer vuelos suborbitales para turistas a un precio de \$200.000 dólares estadounidenses. La empresa SpaceX, en la presentación del año 2016 de su proyecto para llegar a Marte, declaró que planea vender vuelos interplanetarios a Marte para el 2024 a un precio de \$100.000 de la misma moneda, montos que a comparación de las sumas pagadas por los anteriores viajeros espaciales, resultarían en una reducción de más del 99%, ampliando el mercado a 300 a 600 personas en el año inicial, y pudiendo alcanzar los miles en 10 años después, como se revisa más adelante en este trabajo.

### **Los viajes turísticos espaciales realizados hasta la fecha**

Una vez hecho un breve repaso del surgimiento histórico del Turismo Espacial, cabe agregar otro dato de relevancia que es el suceso que dio origen a la oferta de viajes espaciales con fines turísticos y quiénes fueron los involucrados que formaron parte de estos viajes hasta la fecha.

El negocio de llevar turistas de un alto poder adquisitivo al espacio comenzó con el colapso de la Unión Soviética. La agencia espacial rusa se vio en aprietos para pagar sus deudas por lo que para juntar fondos decidió enviar civiles al espacio. Como se mencionó anteriormente, el primero de ellos fue el japonés Toyoshiro Akiyama que fue seleccionado para realizar entrenamiento de cosmonauta en el año 1989, en un acuerdo realizado por la radiotelevisión TBS de Tokyo y la Unión Soviética. Luego de completar su entrenamiento en el Centro de Entrenamiento Cosmonauta Yuri Gagarin, despegó a bordo del Soyuz TM-11 en una misión hacia la Estación Espacial rusa, MIR, en diciembre de 1990. Allí permaneció durante una semana, realizando documentales en vivo acerca de la vida en la estación (Seedhouse, 2014).



El siguiente astronauta comercial fue Helen Sharman, quien respondió un anuncio que buscaba a postulantes para ser el primer astronauta británico. En noviembre de 1989, fue seleccionada de entre 13.000 candidatos. El programa fue nombrado Proyecto Juno, y fue un acuerdo entre la Unión Soviética y un grupo de compañías británicas. Sharman estuvo 18 meses entrenando para la misión. En mayo de 1991, luego de haber superado varios obstáculos que casi llevaron a la cancelación de la misión, a bordo del Soyuz TM-12, Sharman realizó su viaje junto a dos cosmonautas más. Su estancia duró 8 días en la Estación Espacial rusa MIR hasta su regreso a la Tierra (Seedhouse, 2014).

Luego del vuelo de la astronauta comercial británica pasaron 10 años hasta que otro turista pudiera visitar el espacio. Esto se debió a que los Estados Unidos, como parte de los países que controlan la Estación Espacial, objetó el envío de civiles al espacio aludiendo que su escaso entrenamiento y su falta de aptitudes multilingües podrían poner en peligro las misiones en la Estación. Rusia, país a cargo del vehículo Soyuz, argumentó que los civiles tendrían el mismo entrenamiento que reciben los demás cosmonautas y que tendrían toda la preparación necesaria. Eventualmente, los Estados Unidos cedió en su argumento y permitió el envío de civiles al espacio. Sin embargo, la NASA (entidad pública estadounidense) hizo firmar un documento a todos los turistas, en donde se comprometían a no demandar a la agencia ante cualquier contingencia y que además debían hacerse cargo económicamente por cualquier objeto que pudieran averiar (Seedhouse, 2014).

El tercer civil en viajar al espacio fue Dennis Tito, mencionado anteriormente en este trabajo, inversor multimillonario de California, y ex-científico de la NASA, quien pagó la suma de \$20 millones de dólares estadounidenses para realizar este viaje a la Estación Espacial Internacional (Seedhouse, 2014).

A él le siguió el sudafricano Mark Shuttleworth, magnate del Internet quien hizo su fortuna vendiendo una firma de seguridad de Internet. Shuttleworth se convirtió en el primer africano en viajar al espacio (Seedhouse, 2014).

Gregory Olsen, fue el siguiente pasajero espacial en octubre de 2005. Con un título en física y materiales científicos pasó la mayor parte de su tiempo en el espacio realizando investigaciones (Seedhouse, 2014).

Quien le siguió a Olsen fue Anousheh Ansari. En septiembre de 2006 junto a dos astronautas, viajó a bordo del Soyuz TMA-9. Durante sus 8 días a bordo de la estación, Ansari realizó experimentos para la Agencia Espacial Europea, acerca de la anemia, las consecuencias de la radiación solar y cómo los cambios en los músculos afectan la zona baja de la espalda (Seedhouse, 2014).

El siguiente astronauta comercial fue el húngaro-estadounidense Charles Simonyi, un ejecutivo de *softwares* en computación quien viajó al espacio a bordo del Soyuz TMA-10 en abril del 2007. En marzo de 2009, realizó un segundo viaje a la Estación Espacial (Seedhouse, 2014).

Posteriormente, un nuevo viaje fue efectuado por Richard Garriott, quien se convirtió en el primer estadounidense de segunda generación en viajar al espacio, ya que su padre, Owen Garriott fue astronauta de la NASA. Richard Garriot, desarrollador de videojuegos realizó el viaje luego de que se pospusiera en reiteradas ocasiones debido a distintos inconvenientes incluyendo problemas de salud por parte de Garriott. Finalmente, en octubre de 2008, y luego de pagar la suma de 30 millones de dólares estadounidenses, se subió a bordo del Soyuz TMA-13 pasando un total de 12 días en la Estación (Seedhouse, 2014).

El siguiente pasajero espacial fue el canadiense Guy Laliberté, un emprendedor, filántropo, jugador de póker y co-fundador del Cirque du Soleil quien pagó la suma de \$35 millones de dólares estadounidenses para realizar el viaje (Seedhouse, 2014).

En todos los casos, los viajes tuvieron como partícipe a la empresa Space Adventures, quien se encargó de gestionar los viajes y efectuó el rol de intermediario entre los viajeros y la agencia espacial rusa (Petrov Angelov, 2015).



El repaso de los individuos que emprendieron viajes turísticos al espacio demuestra que de hecho sólo un número reducido de personas con fortunas multimillonarias han sido partícipe de esta modalidad de viajes hasta el momento. Sin embargo en el siguiente apartado se comenta que la demanda existente es mucho más amplia.

### **Referencia de estudios del mercado potencial**

A esta altura el lector puede preguntarse cuando se hace mención al Turismo Espacial si existe una demanda sostenible en la actualidad, y cómo podría variar la misma con las nuevas tarifas que se han mencionado que pasarán a incorporarse en el futuro cercano. Por este motivo, para responder a esta incógnita, en este apartado se procede a exponer algunos de los principales estudios de mercados realizados en los últimos años que se han considerado de relevancia desde la perspectiva de este trabajo.

En un estudio realizado por el grupo Tauri, citado por Seedhouse (2014) se llevó a cabo una serie de encuestas a individuos de alto poder adquisitivo. El estudio considera un período de 10 años, 2014-2024. La información obtenida reveló la existencia de un mercado amplio para los vuelos suborbitales. Los resultados mostraron que existen alrededor de 8.000 individuos dispuestos a pagar los precios actuales, constituyendo una demanda sostenible para este tipo de vuelos. Los encuestadores encontraron también que el público interesado crecería en la misma proporción que lo hará la población de alto poder adquisitivo, es decir, en un 2%. Asimismo los pronósticos aluden a que 3.600 pasajeros formarán parte de estos viajes, dentro del período de 10 años en consideración. Por otro lado, los individuos que conforman el grupo de los menos interesados generarían unos 173 asientos adicionales. De acuerdo al mismo pronóstico, anualmente se ocuparían 335 asientos, los cuales crecerían año tras año hasta alcanzar los 400 asientos para el año 10.

En el escenario optimista planteado por este estudio de Tauri, los números son claramente superiores. Dentro del período estipulado existiría una demanda conformada por 10.700 personas partícipes de esta modalidad turística, con un adicional de 535 potenciales consumidores que abarcarían el grupo de los menos interesados. Toda esta demanda partiendo de un número de 1.000 asientos en el primer año, llegando a los 1.200 para el año 10 (Seedhouse, 2014).

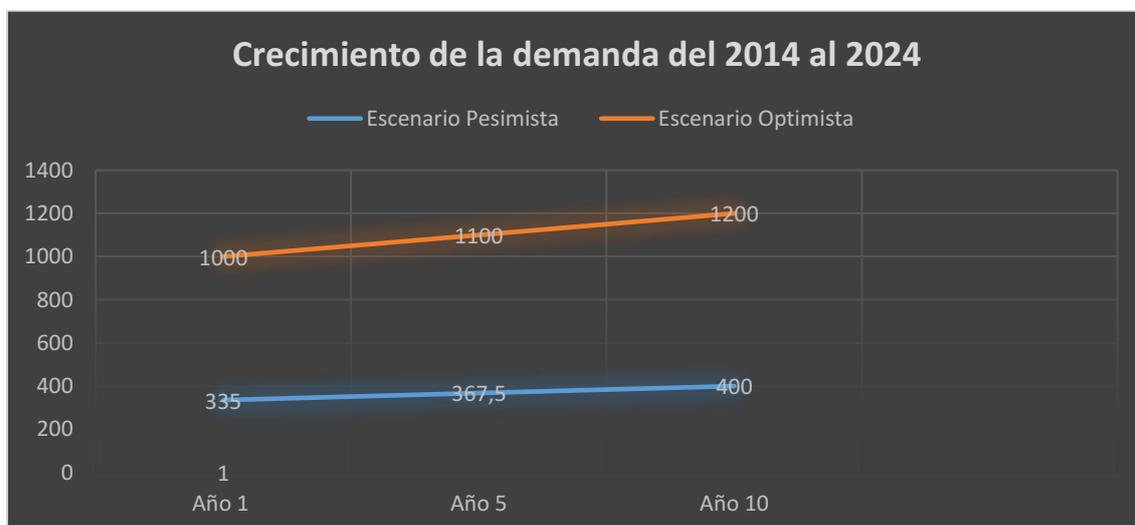




Gráfico 1. Estudio de mercado de Tauri. Fuente: Seedhouse (2014).

Adicionalmente, el estudio realizado por Astrium-IPSOS, concuerda con el primer estudio citado en que existe un amplio mercado para el Turismo Espacial suborbital. Según la información obtenida a partir de las encuestas de este estudio, existirían 600 clientes en el primer año, y entre 43.000 y 85.500, 16 años después, dependiendo de los precios de los boletos.

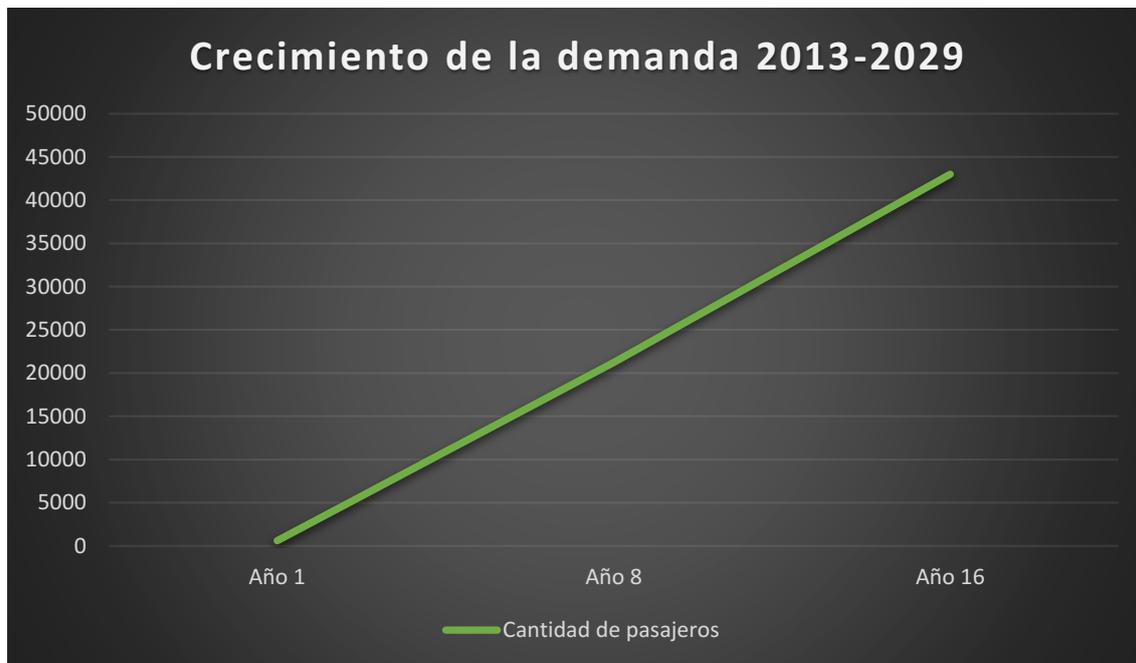


Gráfico 2. Estudio de mercado de Astrium-IPSOS. Fuente (Le Goff & Moreau, 2013).

Los resultados obtenidos reflejan que los estadounidenses y los chinos son los más entusiastas de los viajes suborbitales, especialmente los primeros, cuando se trata de individuos con un gran poder adquisitivo. Las estimaciones obtenidas indican que más del 20% de estadounidenses con un patrimonio entre los 25 millones y los 50 millones de dólares estadounidenses estarían interesados en participar en esta tipología de viajes, y más del 50% para aquellos que cuentan con una fortuna mayor a los 50 millones. Para el caso de los europeos y los japoneses, los porcentajes para los mismos volúmenes de riqueza son de 10% para el primer rango y 20% para el segundo rango (Le Goff & Moreau, 2013).

La principal razón que motiva a los potenciales clientes es: participar en una aventura que pocas personas podrán disfrutar, en lo que es hoy, de las pocas zonas inexploradas por el ser humano. Por el contrario, algunas de las principales razones para no efectuar el viaje son: problemas ambientales y problemas de seguridad. Estos motivos fueron manifestados por algunos europeos, aunque muy pocos estadounidenses y chinos (Le Goff & Moreau, 2013).

Los resultados de este estudio fueron obtenidos por dos campañas de investigación y encuestas. La primera realizada en el 2007 y la segunda en el año 2010. La crisis financiera del año 2008 no tuvo un impacto real en el número de pasajeros (Le Goff & Moreau, 2013).



Por otra parte, el estudio realizado por Reddy, Nica & Wilkes (2012), analizó la demanda para el turismo espacial en el Reino Unido. La muestra de individuos que tomó esta investigación para obtener la información requerida estuvo conformada por un 30% por personas de entre 35 y 50 años, 26% tenían menos de 25 años, aquellos que estaban entre los 25 y 34 años conformaban el 23%, los individuos entre los 51 y 65 años constituían el 17%, y aquellos por encima de los 65 años tan sólo el 4%.

En relación a las preguntas realizadas, primeramente se le consultó a los encuestados acerca de si conocían de la existencia del turismo espacial. El 51% respondió afirmativamente.

El 22% de la muestra del estudio consideró a la experiencia del turismo espacial como importante o muy importante.

En adición, las preguntas incluían un escenario hipotético donde los encuestados contaban con el dinero para poder realizar el viaje, para excluir el factor monetario de la investigación y sesgar el componente de la voluntad de los potenciales clientes. De esta forma, el 54% de los participantes contestó que está dispuesto a llevar a cabo un viaje espacial, optando por las respuestas “probable” y “muy probable”. Por otro lado, el 26% respondió que aun contando con el dinero no formarían parte de esta experiencia. Entre las principales razones para no realizar el viaje, “riesgo” fue la mayoritaria, elegida por un 34% de los participantes. Sumado a esto, un 33% considera que hay “suficientes destinos para ver en la Tierra” por lo que no poseen interés en formar parte de los viajes espaciales. Por su parte, un 9% expresó que su motivo para no efectuar el viaje sería por su preocupación por el medio ambiente.

Entre las principales motivaciones para formar parte del turismo espacial se encuentran la visión de la Tierra desde el espacio, llevándose un 66% de las contestaciones. Estudios previos confirman a esta razón como la principal en los potenciales clientes, como es el caso del estudio realizado por Futron (2002) en donde se obtuvo que el 63% de los encuestados en Estados Unidos encontraban en ver la Tierra desde el espacio exterior como el principal motivo para realizar un viaje turístico por el espacio. Del mismo modo, una investigación llevada a cabo en el Reino Unido explayada en Barret (1999) obtuvo la misma respuesta por parte de los participantes (Reddy et al., 2012). Otro de los principales motivos encontrados por Reddy et al. (2012) fue experimentar la ingravidez o gravedad cero, la cual fue la opción elegida por el 44% de las respuestas. Detrás, le sigue el exotismo del viaje espacial como experiencia fuera de lo natural con un 43% de las contestaciones.

En lo concerniente a los principales factores que influyen en la toma de decisión de realizar un viaje espacial, es el riesgo que este implica el que se destaca, con un 27% de las respuestas. El entrenamiento requerido es el factor de influencia que le sigue, con un 20% de las contestaciones. En relación a este último factor, los encuestados manifestaron que el tiempo máximo de entrenamiento que estarían dispuestos a enfrentar es de entre 2 semanas y un mes como máximo. Por otro lado, cuando se consultó por el mercado objetivo del turismo espacial, los participantes de las encuestas aludieron en un 54% que individuos con un gran poder adquisitivo y en un 12% personas venturosas, son los principales clientes que conformarían el mercado (Reddy et al., 2012).

De esta forma, a través de esta recopilación de algunos de los principales estudios de mercado realizados, se puede observar la existencia de una demanda consistente que



permitiría que el turismo espacial se consolide como una nueva modalidad de viajes turísticos. Para que esto suceda, quedaría entonces que los desarrollos tecnológicos por parte de la oferta terminen de concretarse para poder abastecer a la demanda existente. De esto se habla en el siguiente apartado.

### **Empresas oferentes de vuelos suborbitales**

Una vez demostrado que existe una demanda suficiente para sustentar la realización de esta modalidad de viajes turísticos al espacio, es preciso mencionar la oferta que se está desarrollando en relación a esta actividad.

Como se hizo mención anteriormente este trabajo se enfoca mayormente en los viajes suborbitales. El año 2004 fue un año fundamental para este tipo de viajes. Durante este año, se llevó a cabo el vuelo histórico que dio el puntapié inicial para el comienzo de este tipo de viajes. El SpaceShipOne se adjudicó el premio Ansari X, de 10 millones de dólares estadounidenses. La empresa Scaled Composites, fue la hacedora de este logro. Es así como se dio comienzo a los vuelos espaciales no gubernamentales, llevados a cabo por empresas privadas independientes (Young, 2015).

En julio de 2005, la compañía ganadora del premio, firmó un acuerdo con Richard Branson, de la empresa Virgin Group, quien vio el potencial de los vuelos suborbitales. Así, se formó la compañía SpaceShip, desarrollando sus instalaciones para realizar los lanzamientos de vuelos suborbitales del tipo comercial, en Mojave, California en Estados Unidos. De este modo, Branson conformó Virgin Galactic, enfocada en brindar servicios de viajes suborbitales al espacio. Cerca de 700 boletos fueron vendidos en la suma de \$200.000 dólares estadounidense, aun cuando los vehículos estaban en proceso de desarrollo. Este proceso terminó demandando más de lo previsto, tal es así que aún se encuentran finalizando la etapa de verificación. Durante las pruebas de los vehículos, se perdieron vidas. Sin embargo, han logrado que el SpaceShipTwo complete vuelos exitosos y la compañía planea producir más unidades de este tipo de nave (Young, 2015).

Recientemente, en febrero de 2019, luego de varios vuelos exitosos, la empresa concretó su primer vuelo trasladando un pasajero civil, Beth Moses quien actuará como instructora de vuelos cuando comiencen los traslados de turistas al espacio, los cuales se proyectan para mediados del corriente año 2019 (Virgin Galactic, 2019).

Otro de los desarrollos tecnológicos en naves suborbitales fue el de la compañía XCOR, con el vehículo Lynx. Esta empresa se declaró en bancarrota en el año 2018. Con logros tecnológicos pioneros por parte de una empresa privada en el ámbito espacial, la compañía XCOR inició su programa comercial luego de desarrollar y poner en vuelo varias naves exitosamente. En este nuevo programa se propuso crear el primer vehículo suborbital que logre despegar de una pista convencional, alcanzar una altitud de 100 km, ingresar nuevamente en la atmósfera y aterrizar sobre la misma pista inicial. Esta nave, nombrada Lynx, hubiese operado con un piloto y un pasajero, y realizaría sus operaciones desde dos centros espaciales. El centro ubicado en Mojave, California en los Estados Unidos, o las instalaciones localizadas en la isla de Curaçao en las costas de Venezuela. Las pruebas de la nave solían llevarse a cabo en el centro de Mojave.



El modo operativo de la nave consistía en un despegue desde la pista, un ascenso de 3 minutos, luego se apagaban los motores a los 58 km de altura hasta que el impulso lo llevaba a alcanzar los 100 km. A esta altura, los tripulantes experimentarían ingravidez durante unos minutos y una vista completa de la Tierra desde el espacio. Posteriormente, cuando la gravedad empezaba a atraer la nave hacia la superficie nuevamente, el piloto encendía los motores para conseguir un deceso controlado. El proceso culminaba con el aterrizaje del vehículo en la misma pista de despegue de la cual partió (Young, 2015).

Otro de los oferentes de vuelos suborbitales es la compañía Blue Origin. Esta empresa fue fundada por Steve Bezos, quien llevó a Amazon.com a ser una de las plataformas de ventas de mercadería más grandes del mundo. Con planes similares a los planteados por las empresas mencionadas anteriormente en este trabajo, la firma está enfocada en el lanzamiento de naves espaciales y el desarrollo de cápsulas tripuladas. Los cuarteles generales de Blue Origin se encuentran en Kent, Washington, Estados Unidos, con sus instalaciones de prueba y lanzamiento en Van Horn en el estado de Texas al sur del país norteamericano (Young, 2015).

A diferencia de la empresa SpaceX, Blue Origin no se ha beneficiado de apoyos económicos gubernamentales aunque ha recibido premios por parte de la NASA por sus programas comerciales (Young, 2015).

En septiembre de 2014, la *United Launch Alliance* (proveedor de servicios de lanzamientos al gobierno estadounidense) y Blue Origin firmaron un acuerdo para desarrollar un motor de vehículo lanzador de 550.000 libras de fuerza de impulso (2,45 millones de Newtons) a base de oxígeno líquido/gas natural líquido. Este nuevo lanzador fue nombrado el BE-4 (Young, 2015).

Con este nuevo desarrollo tecnológico la empresa Blue Origin busca alcanzar su objetivo de permitir el acceso al espacio a los humanos a un costo de alrededor de \$200.000 de dólares estadounidenses y con una mayor confiabilidad en su funcionamiento que la provista por sus anteriores desarrollos vehiculares (Young, 2015).

En el caso de la empresa, SpaceX su desarrollo de naves tripuladas tuvo su despegue luego de la obtención de un premio de 2,6 mil millones de dólares estadounidenses otorgado por la NASA en el año 2014. La cápsula que permitió la adjudicación de dicho premio es una versión de su Dragon creada para llevar cargamento y tripulación, hasta y desde la Estación Espacial Internacional (Young, 2015).

Dentro de los planes de la corporación SpaceX figura el envío de un pasajero comercial a la Luna (SpaceX, 2018). Además con los recientes acuerdos entre esta empresa y la NASA, y los incentivos de este ente gubernamental para que regresen los lanzamientos de vehículos tripulados desde los Estados Unidos, SpaceX tomará un rol fundamental en el desarrollo de naves tripuladas para realizar viajes a la Estación Espacial Internacional (Young, 2015).

Como se ha mencionado anteriormente, la empresa estadounidense Space Adventures fue partícipe en la organización de los viajes realizados por los turistas espaciales que han viajado al espacio hasta el momento. Todos ellos han volado a través del vehículo espacial Soyuz ruso, aunque los acuerdos de la NASA con SpaceX y Boeing llevarán los traslados de tripulantes al espacio de Rusia a Cabo Cañaveral en los Estados Unidos. La cápsula de tripulantes Boeing CST-100 y la cápsula Dragon v2 de SpaceX tienen como objetivo llevar tripulantes a la Estación Espacial Internacional. Normalmente estos vehículos llevarán 4 tripulantes aunque cada una puede transportar



hasta 7 pasajeros. Los asientos extras permitirán que pasajeros comerciales privados efectúen viajes al espacio para realizar una estadía en la Estación Espacial. El órgano gubernamental de la NASA, estaría de acuerdo en trasladar pasajeros civiles al espacio siempre y cuando cumplan con los requerimientos psicológicos y fisiológicos para tal misión, y que no pongan en riesgo a los demás tripulantes (Young, 2015).

Estos turistas espaciales deberán completar un entrenamiento antes de efectuar dicho viaje, aunque este entrenamiento es menos riguroso que el que deben llevar a cabo los astronautas autorizados (Young, 2015).

A partir de lo expuesto en este apartado, se puede observar que existe una oferta y que se encuentra pronta a consolidarse en el mercado de los viajes de turismo espacial. Las predicciones de las empresas mencionadas apuntan al año 2019 y 2020 como los años en los que comenzarán con la realización de viajes turísticos espaciales. Estos oferentes podrían abastecer a la potencial demanda que fue analizada en el apartado anterior. Asimismo, como se mencionó en este trabajo, la empresa Virgin Galactic que se perfila como el principal oferente de vuelos turísticos suborbitales, ya tiene cientos de vuelos vendidos hace años, mucho tiempo antes de terminar de desarrollar sus vehículos, otra muestra de la demanda que existe para este tipo de viajes, y cómo, ante la inminente entrada al mercado por parte de dicha empresa, se harán realidad los viajes de turismo espacial.

### **Los vehículos del Turismo Espacial y sus combustibles**

Luego de haber analizado la demanda y la oferta de los viajes turísticos al espacio cabe profundizar acerca de los tipos de vehículos utilizados y los combustibles con los que estos operan.

Primeramente, es necesario hacer una breve mención acerca de los principales tipos de combustibles (también llamados propelentes) que se pueden encontrar en los vehículos espaciales en general, para que el lector pueda reforzar su comprensión de los temas a tratar en este apartado.

Dentro de los principales tipos de motores de vehículos espaciales se encuentran los motores a combustibles sólidos o propelentes sólidos. El motor sólido se utiliza principalmente como refuerzo para vehículos de lanzamiento. Los motores sólidos casi nunca se usan en el espacio porque no son controlables. Los impulsores se encienden y luego se disparan hasta que todo el propelente se haya quemado. Sus principales beneficios son la simplicidad, una vida útil que puede extenderse a años como en el caso de los misiles y una mayor confiabilidad en comparación a las demás clases de combustibles (Universidad Northwestern, 2019).

Por otro lado existen los motores a combustible líquido. Esta clase de motores vienen en muchas formas y tamaños, la mayoría de ellos son controlables (se pueden regular hacia arriba y hacia abajo) y se pueden reiniciar, a menudo se utilizan para realizar controles y maniobras de propulsión. Los propulsores líquidos se pueden dividir en tres tipos principales: monopropelentes, bipropelentes y propulsores criogénicos. Los monopropelentes sólo usan un propelente como la hidracina (de la cual deriva la Dimetilidrazina Asimétrica de la cual se amplía más adelante). Los bipropelentes usan un combustible y un oxidante como el RP-1 (forma refinada de querosén) y el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (peróxido de hidrógeno o agua oxigenada). Los sistemas criogénicos utilizan gases licuados como LiH y LOX (hidrógeno líquido y oxígeno líquido). Criogénico significa súper enfriado. Es necesario enfriar demasiado el hidrógeno y el oxígeno para hacerlos



líquidos. Con cada fase del monopropelente a bipropelente y criogénico, la complejidad del propulsor aumenta y del mismo modo aumenta el rendimiento (Universidad Northwestern, 2019).

Por otra parte existen los motores de gas frío. Estos motores tienen una capacidad de control similar a la de los líquidos, pero son más simples y livianos que estos. Son básicamente un tanque de alta presión con interruptores que alternan entre los estados abierto y cerrado. Estos tipos de motores funcionan de manera similar a la pintura en aerosol, el contenido se encuentra dentro, bajo presión, y cuando la válvula se abre, fluye hacia afuera (Universidad Northwestern, 2019).

Finalmente, existen los motores de iones, estos difieren de los motores químicos (sólidos, líquidos) en que son motores de bajo empuje que pueden funcionar durante largos períodos de tiempo. Por ejemplo, la duración del uso de los motores químicos suele ser de segundos a días, mientras que la duración del uso de los motores iónicos puede ser desde días hasta meses (Universidad Northwestern, 2019).

A partir de esta breve mención de los principales tipos de motores utilizados por los vehículos espaciales se puede proceder a mencionar los vehículos y combustibles utilizados por los principales oferentes de vuelos turísticos espaciales.

En primer lugar, de la empresa SpaceX se pueden destacar los vehículos lanzadores Falcon 9 y Falcon Heavy. El primero de estos dos vehículos es la primera aeronave orbital reutilizable de la historia, esta compañía ha logrado el lanzamiento exitoso de dicha aeronave, en el año 2017, siendo este el punta pie inicial para las nuevas tecnologías reutilizables en los vehículos espaciales (SpaceX Updates, 2018). Este tipo de tecnología permite reducir completamente los niveles de fragmentos que se desprenden en cada vuelo de los vehículos espaciales llevándolos hasta cantidades nulas, reduciendo así el impacto ambiental derivado de las actividades de los vehículos espaciales.

Los principales vehículos, el Falcon 9 y el Falcon Heavy operados por esta compañía utilizan el combustible líquido LOX/RP-1, esto es una combinación de oxígeno líquido y una forma de querosén refinado. Este tipo de combustible es el mismo utilizado por el sistema de propulsión Soyuz anteriormente mencionado en este trabajo, encargado de todos los vuelos turísticos espaciales hasta la fecha.

Por otro lado, el vehículo Dragon de SpaceX, para tripulantes comerciales, anteriormente mencionado, posee un diseño exterior muy estético, aspecto que es otorgado por cuatro provisiones aerodinámicas que llevan dos motores de impulso Super Draco. Estos motores, poseen una gran potencia y están diseñados para separar la cápsula del vehículo lanzador en caso de un aborto de misión de emergencia. Un potencial modo operativo del vehículo es la configuración de un paracaídas para la mayor parte del descenso y la utilización de propulsores para la parte final del proceso hasta el momento de alcanzar la superficie (Young, 2015)

Inicialmente el Dragon v2 realizará sus pruebas sobre el océano. Los lanzamientos de este vehículo se harán a bordo del Falcon 9, y realizará sus despegues desde el remodelado Complejo de Lanzamiento 40, al sur del Centro Espacial Kennedy (Young, 2015).



Figura 1. Vehículo Falcon Heavy de SpaceX. Fuente: Sin derechos de autor.

Debido a que este trabajo se enfoca en la sostenibilidad del sector turístico espacial, cabría pensar qué aspecto sostenible involucra esta empresa y sus vehículos. En relación a ello, cabe mencionar que detrás de esta compañía se encuentra un emprendedor que ya lleva a cabo prácticas sostenibles en otras industrias, como es el caso de Elon Musk, quien es el creador de la empresa *Tesla*, compañía que produce vehículos basados en energía eléctrica y quien además ha desarrollado paneles solares para viviendas que simulan la forma de una teja, y proveen de energía solar a todo el hogar (Toivonen, 2017) (Tesla, 2018). Del mismo modo, la empresa SpaceX ha afirmado que utilizará tecnología sostenible para el desarrollo de sus actividades.

Por otra parte, con respecto a la empresa Virgin Galactic, el vehículo SpaceShipTwo, consiste en un vehículo principal y uno de carga que acarrea al primero. El vehículo principal, que posee un motor híbrido (sólido y líquido), se planea que opere 2 veces al día, mientras que el vehículo de carga, que consiste de cuatro motores a reacción, volará 4 veces al día. Se estima que en unos pocos años, un total de 50 vehículos de carga operen para actividades de turismo espacial, colocación en órbita de pequeños satélites, entre otras actividades (De Luca et al., 2013).

En lo que concierne a la sostenibilidad de la empresa, según las declaraciones de esta compañía, el SpaceShipTwo es un vehículo amigable con el ambiente: su utilización de dióxido de carbono equivale a la misma cantidad de un asiento de clase ejecutiva de un vuelo de Nueva York a Londres, calculado en aproximadamente 500 kg según Van Pelt (2012). Para poner esto en perspectiva, se debe contemplar que el Space Shuttle, vehículo más potente de la humanidad por varias décadas hasta la aparición del Falcon Heavy de SpaceX, consumía una cantidad de energía equivalente a la necesaria para proveer de electricidad a la ciudad de Nueva York por una semana (Seedhouse, 2014).

Por otro lado, Richard Branson el dueño de la empresa Virgin Galactic, ya se encuentra involucrado en la sostenibilidad en la industria aérea, estando a cargo de la compañía Virgin, cadena de transporte sostenible (Toivonen, 2017) (Human Spaceflight, 2017).

La propulsión de los vehículos híbridos, como que el que utiliza el SpaceShipTwo es una buena elección para el tipo de aplicaciones mencionadas ya que son más seguros



y con mejor rendimiento que los combustibles sólidos en términos del impulso específico gravimétrico, más barato que los combustibles líquidos en términos del desarrollo y gestión del sistema de propulsión, y es amigable con el ambiente (al menos así claman serlo). Los vehículos híbridos suelen ser adecuados para el acceso al espacio por parte del sector privado, principalmente por su carácter de seguridad y por ser de bajo costo (DeLuca et al., 2013). El motor híbrido combina la simplicidad de los motores de combustible sólido con la capacidad de control de los motores de combustible líquido. Este motor además, puede apagarse rápidamente y de manera segura en cualquier punto del vuelo del vehículo (Virgin Galactic, 2018).



Figura 2. Vehículo SpaceShipTwo de Virgin Galactic. Fuente: Seedhouse (2014).

Por último, en el caso de la compañía Blue Origin, el principal vehículo que ha desarrollado esta corporación es el New Shepard. Es un vehículo que contiene un módulo de propulsión impulsado por motores BE-3 de hidrógeno líquido/oxígeno líquido. A su vez, posee una cápsula para tripulantes que puede llevar varios pasajeros. Sumado a esto, el vehículo puede ser reconfigurado para llevar cargamento con fines científicos (Young, 2015).

El modo de operación de la nave consiste en ser lanzado hasta alcanzar una altitud de 100 km, punto en el que la cápsula de tripulantes se desprende del módulo de propulsión. Durante unos minutos, los pasajeros experimentan la gravedad cero hasta que la cápsula regresa a su sitio designado para el aterrizaje, deteniendo la fuerza de entrada a la atmósfera con un sistema de paracaídas. Mientras tanto, el módulo de propulsión, enciende sus motores para regresar al sitio de lanzamiento, permitiendo su reutilización en posteriores misiones (Young, 2015).

El BE-3, vehículo más poderoso creado por la empresa lleva más de 160 despegues. Posee motores de una fuerza de propulsión de entre 100.000 y 110.000 libras (444.000 a 489.000 Newtons) (Young, 2015).

Adicionalmente, con respecto a la sostenibilidad de la compañía, Blue Origin también involucra en sus actividades de vehículos espaciales el aspecto sostenible. Utilizará las plataformas de lanzamiento del Centro Espacial Kennedy y Cavo Cañaveral, aprovechando el espacio físico que hasta entonces había sido utilizado por el gobierno



federal (Toivonen, 2017). Los vehículos de dicha compañía han sido diseñados de tal forma que la primera etapa pueda ser reutilizada en vez de ser desechada en los océanos, de esta manera se reducen los costos debido a que la primera etapa es la más cara. Sumado a esto, su carácter reutilizable reduce los desechos arrojados al mar, disminuyendo su impacto ambiental. Asimismo, los vehículos espaciales utilizados por la compañía son a base de combustible de hidrógeno y oxígeno. Este tipo de combustible posee un carácter sostenible, ya que por un lado el único residuo derivado de la combustión es vapor de agua y por otro lado no emite carbono negro en la atmósfera. Asimismo, no emana partículas de hollín como es el caso de los motores a combustible de querosén (Toivonen, 2017) (Blue Origin, 2018).



Figura 3. Vehículo New Shepard de Blue Origin. Fuente: Blue Origin (Tomado el 4/4/2019).

Por otra parte, a nivel gubernamental, la NASA ha adoptado prácticas sostenibles, entre las que cabe destacar el desarrollo de medidas de mitigación para reducir la producción de fragmentos resultantes de los vuelos espaciales (NASA sustainability, 2018) (Toivonen, 2017).

En adición, el sistema de propulsión ruso Soyuz, el utilizado en todos los viajes de turistas espaciales hasta la fecha, trabaja a base de combustibles de querosén (T-1) y O<sub>2</sub> (oxígeno líquido). Fue diseñado para lanzar vehículos automáticos, tripulación y cargamento. Como se mencionó anteriormente los vehículos Falcon de SpaceX utilizan el mismo tipo de combustible.

De este modo, repasando los principales aspectos del Turismo espacial, y tanto su potencial demanda como los oferentes existentes, y al mismo tiempo, comentando los aspectos sostenibles de estas empresas que conforman la oferta, cabría profundizar acerca de la sostenibilidad en esta tipología de viajes turísticos espaciales. Esto se desarrolla en el siguiente apartado.

## **Turismo Espacial Sostenible**

Una vez explayados los principales aspectos de la tipología turística centro de estudio de este trabajo es necesario profundizar sobre cómo desarrollar estos viajes de una manera sostenible.

De acuerdo a Toivonen (2017) la incógnita pasa por saber cómo se puede regular esta actividad, así como también si es que podrá ser esta una industria similar a la aviación, donde la demanda está conformada por un público de millones de personas al año. De acuerdo al autor Eric Stallmer (2015) la futura legislación debería permitir que los nuevos avances tecnológicos se conviertan en negocios sostenibles (Davenport, 2015) (Toivonen, 2017).



De acuerdo a Fawkes (2009) la idea del Turismo Espacial es opuesta al desarrollo industrial sostenible. El autor argumenta que la creación de esta nueva tipología va en contra de las nuevas tendencias sostenibles del turismo, en donde las actividades sostenibles brindadas por una amplia variedad de operadores y en donde el movimiento *slow-travel* se han vuelto las mayores tendencias en el mercado turístico. Los riesgos del turismo espacial deben ser mitigados desde el comienzo, introduciendo prácticas sostenibles en las operaciones y sistemas, ya que el espacio es una parte vital de la sostenibilidad (Toivonen, 2017).

El turismo interactúa y abarca políticas de distintas áreas como el transporte, el desarrollo regional y el manejo del ambiente, entre otras. De acuerdo a lo expuesto por Dredge (2015), las políticas y acciones que apuntan a la implementación de un turismo espacial sostenible deben situarse en un marco de políticas más amplio, en donde el turismo sólo representa un componente (Toivonen, 2017).

Las regulaciones de la industria turística suelen ser una combinación de diversas áreas gubernamentales, será la efectiva relación y asociación de los distintos actores lo que determinará la formación sostenible del turismo espacial (Mowforth & Munt, 2015) (Toivonen, 2017).

De acuerdo a los dichos de Carter et al. (2015, p.457) de manera similar con el turismo de aventura, el turismo espacial presenta un importante componente filosófico que puede ser aprovechado para la sostenibilidad, ya que la experiencia lleva a los participantes a reflexionar sobre su lugar en el universo, su relación con otros seres vivos y el concepto del tiempo. Como ya se ha mencionado en este escrito, este aspecto del viaje al espacio exterior es resaltado por todos los astronautas que han viajado al espacio, quienes claman que tener una vista de la Tierra es una experiencia psicológica, que lleva a ver la fragilidad del mundo en el que vive la humanidad (Akiyama, 1993) (Spencer, 2004) (Reddy et al., 2012) (Chang, 2015) (Toivonen, 2017). Principalmente este aspecto del viaje al espacio con fines turísticos es, desde la perspectiva de este trabajo, uno de los aspectos relevantes en la generación de un mayor grado de consideración con el ambiente terrestre y acerca del impacto de la actividad humana, ya que otorga un mayor sentido de pertenencia para con el planeta y para con toda la humanidad. Los autores mencionados anteriormente en este párrafo exclaman que luego de un viaje en el espacio, la mentalidad del viajero suele tornarse más tolerante con respecto a las diferencias con el resto de la humanidad ya que suelen volver con una perspectiva del ser humano como toda una especie, dejando de lados las diferencias étnicas e ideológicas (Toivonen, 2017).

La sostenibilidad en el turismo espacial puede parecer imposible en un principio debido a los elementos generalmente asociados con el turismo y los viajes espaciales, ya que las tendencias en las prácticas turísticas se concentran en mantener la naturaleza de los destinos lo menos alterada posible (Mowforth & Munt, 2015) (Toivonen, 2017).

Tradicionalmente, el desarrollo del turismo y las actividades turísticas se han vuelto sostenibles en los negocios que han considerado no sólo el éxito económico sino que también los aspectos ambientales y sociales (Toivonen, 2017). En el turismo espacial, existen asuntos de sostenibilidad social como lo es el costo del servicio que actúa como un factor de segmentación de la demanda, encuadrado en una tipología para los grupos sociales más pudientes. Asimismo, desde el punto de vista de la planificación, la ubicación de los sitios de lanzamiento puede producir impactos negativos en las comunidades locales (Toivonen, 2017).

De acuerdo a Toivonen (2017) en la actualidad representa un gran riesgo no incluir la sostenibilidad en un negocio, ya que puede desencadenar una mala percepción en el



mercado, debido a que puede generar riesgos legales y presiones sociales. Según Fawkes (2009) las predicciones hechas en relación a los ingresos económicos que el turismo espacial generará son de \$ 100 mil millones de dólares estadounidenses para el año 2030 y \$ mil millones de dólares estadounidenses para el 2060. De este modo, sería costoso no incluir una planificación sostenible en el turismo espacial, ya que la industria está en el inicio de su formación y se están estableciendo las normas que la rigen (Toivonen, 2017).

De este modo, considerando tanto los aspectos económicos, sociales y naturales, haciendo un gran énfasis en la preservación del ambiente, gestionando esta actividad turística a través de políticas que involucren todas las disciplinas y facetas que comprenden al sector turístico y dentro de un marco legal adecuado para regular estos viajes, se podrá llevar a cabo el turismo espacial de una manera sostenible.

### **Turismo Espacial Ecológico**

En base a lo mencionado hasta este punto en este trabajo, y haciendo una analogía entre el concepto aportado de Turismo Ecológico y Turismo Espacial, se podría intentar dar una aproximación conceptual al Turismo Espacial Ecológico. De esta manera, se podría definirlo como aquel que se enfoca en minimizar los impactos ambientales, es decir aminorando la contaminación gaseosa, sólida y acústica (esto se revisa en detalle en el próximo capítulo), aquel enfocado en preservar el ecosistema en dónde se encuentran inmersos los complejos que llevan a cabo las actividades turísticas y de vehículos espaciales y aquel que busca disminuir el nivel de afectación sobre las comunidades locales.

### **Principales centros espaciales alrededor del Mundo**

Para proceder al análisis de los efectos ambientales negativos que produce el Turismo Espacial es preciso tener una noción de los efectos que ha tenido la actividad de vehículos espaciales en el ecosistema de los centros de lanzamiento alrededor del mundo. Para esto, se procede primeramente en este apartado, a mencionar los principales Centros Espaciales alrededor del mundo, tanto en torno a su actividad en la actualidad como su relevancia histórica.

En la siguiente imagen se pueden apreciar los principales Centros de Lanzamiento en el mundo y su ubicación.



Figura 4. Centros Espaciales alrededor del mundo. Fuente: Koroleva et al. (2018).

Se puede observar fácilmente que los Estados Unidos, Rusia y China son los países que más desarrollo en infraestructura de centros espaciales poseen. De hecho, son estos tres países los que poseen la capacidad de enviar vuelos tripulados al espacio (Goehlich, 2014).

A continuación se procede a hacer una breve mención de los centros de lanzamiento de relevancia en el mundo, su ubicación y los sistemas de propulsión que son capaces de lanzar.

## **Australia**

### **Woomera**

Nombre del sitio: *Spaceport Australia*

Ubicación: Woomera, Australia (Latitud 31.1 °S Longitud 136° E)

Vehículos lanzados: Kistler K-1 (cancelado)

---

## **Brasil**

### **Alcántara**



Nombre del sitio: Centro de lanzamiento Alcántara.

Localización: Alcántara, Brasil (Latitud 2.3° Sur Longitud 44.4° Oeste).

Vehículos lanzados: VLS-1 (propuesto).

---

## **China**

### **Jiuquan.**

Nombre del sitio: Centro de Lanzamiento Satelital Jiuquan.

Ubicación: Desierto de Gobi, Región Autónoma de Mongolia Interior (Latitud 40.6° Norte Longitud 99.9° Este).

Vehículos lanzados: Long March 2C/2D/2F y Long March 4B/4C.

### **Xichang**

Nombre del Sitio: Centro de lanzamiento Satelital

Ubicación: Ciudad de Xichang, China (Latitud 28.3° Norte Longitud 102.0° Este)

Vehículos lanzados: Long March 2C y Long March 3A/3B/3BE/3C

### **Taiyuan**

Nombre del sitio: Centro de lanzamiento satelital Taiyuan.

Ubicación: Provincia de Shanxi, China (Latitud 37.5° Norte Longitud 112.6° Este)

### **Wenchang**

Nombre del sitio: Centro de lanzamiento Wenchang.

Ubicación: Isla Hainan, China (Latitud 19.7° Norte Longitud 111.0° Este)

Vehículos lanzados: *Long March 5* (propuesto).

---

## **Europa**

### **Kourou**

Nombre del sitio: Centro Espacial de Guyana (CSG por sus siglas en inglés).



Ubicación: Kourou, Guyana Francesa (Latitud 5,2° Norte Longitud 52,8° Oeste).

Vehículos lanzados: Ariane 5, Soyuz y Vega. El centro también se está preparando para el Ariane 6 que aún se está desarrollando.

---

## **India**

### **Satish Dhawan**

Nombre del sitio: Centro Espacial Satish Dhawan

Ubicación: Isla Sriharikota, India (Latitud 13,9° Norte Longitud 80,4° Este)

Vehículos lanzados: PSLV y GSLV

---

## **Japón**

### **Uchinoura**

Nombre del sitio: Centro espacial de Uchinoura (Centro espacial de Kagoshima)

Ubicación: Kagoshima, isla de Kyushu, Japón (Latitud 31.2° Norte longitud 131,1° Este)

Vehículos Lanzados: M-V (retirado).

### **Tanegashima**

Nombre del sitio: Centro Espacial Tanegashima (TNSC por sus siglas en inglés)

Ubicación: Tanegashima, Japón (Latitud 30.4° Norte Longitud 131,0° Este)

Vehículos lanzados: H-IIA y H-IIB

---

## **Rusia y la Unión Soviética**

### **Cosmódromo de Baikonur**

Nombre del sitio: Cosmódromo Baikonur

Ubicación: Tyuratam, Kazajstán (Latitud 45,6° Norte Longitud 63,4 Este)

Lanzamiento de vehículos compatibles: Proton, Strela, Dnepr, Zenit, Rockot y Cyclone Infra, Soyuz



### **Plesetsk**

Nombre del sitio: Cosmódromo Plesetsk

Ubicación: Arkhangelsk Oblast, Rusia (Latitud 62,8° Norte Longitud 40,1° Este)

Vehículos admitidos: Kosmos 3 M, Rockot, Soyuz, Start-1, Angara.

### **Svobodny**

Nombre del sitio: Cosmódromo Svobodny (no está operando)

Ubicación: Amur Oblast, Rusia (Latitud 51,4° Norte, Longitud 128,3° Este).

Vehículos admitidos: Start-1 y Rockot.

---

## **Estados Unidos**

### **Estación de la Fuerza Aérea Cabo Cañaveral**

Nombre del sitio: Estación de la Fuerza Aérea Cabo Cañaveral (CCAFS por sus siglas en inglés).

Ubicación: Cabo Cañaveral, Florida (Latitud 28,3° Norte Longitud 80,3° Oeste).

Tipos de Vehículos admitidos: Falcon 9, Atlas V, Delta IV.

### **Centro Espacial Kennedy**

Nombre del sitio: Centro Espacial Kennedy (KSC por sus siglas en inglés).

Ubicación: Isla Merrit, Florida (Latitud 28,5° Norte, Longitud 81,5° Oeste).

Vehículos admitidos: Space Shuttle (retirado).

### **Mojave**

Nombre del sitio: Centro espacial Mojave

Ubicación: California, Estados Unidos (Latitud 35° Norte Longitud 118,2° Oeste)

Vehículos admitidos: Aviones espaciales de despegue horizontal.

### **Spaceport America (Turismo Espacial)**



Nombre del sitio: Spaceport America (originalmente conocido como el aeropuerto espacial de la Región Sudoeste)

Ubicación: Las Cruces, Nuevo Méjico (Latitud 32° Norte Longitud 107° Oeste)

Vehículos admitidos: Space Ship Two (Virgin Galactic)

Este se trata del único Centro Espacial en el mundo que tiene como finalidad principal el lanzamiento de vuelos turísticos espaciales.

### **Vandenberg**

Nombre del sitio: Base de la Fuerza Aérea Vandenberg (VAFB por sus siglas en inglés).

Ubicación: Lompoc, California (Latitud 34,4° Norte, Longitud 120,35° Oeste)

Vehículos Admitidos: Delta II, Delta IV, Atlas V, Minotaur I, Minotaur IV, Taurus, Pegasus and Falcon I.

### **Wallops**

Nombre del Sitio: Complejo aeronáutico Wallops (WFF por sus siglas en inglés) y el Mid-Atlantic Aeropuerto espacial.

Ubicación: Islas Wallops, Virginia (Latitud 37,8° Norte, Longitud 75,5° Oeste)

Vehículos admitidos: Pegasus, Minotaur I, Minotaur IV, Taurus, Antares y el sistema de lanzamiento Cygnus.

### **Sitio de prueba Ronald Reagan**

Nombre del sitio: Sitio de prueba de misiles balísticos de defensa Ronald Reagan.

Ubicación: Isla Omelek, Kwajalein Atoll, Islas Marshall (Latitud 9,3° Norte Longitud 167,4° Este)

Vehículos admitidos: Falcon I, Falcon 9.

---

En adición a los centros espaciales mencionados, existen otros proyectos en desarrollo o en vías de desarrollarse:

En junio de 2017, la reina de Inglaterra, se pronunció acerca de la construcción de centros espaciales en el Reino Unido. Estos centros podrían funcionar tanto para el público en general como para vuelos suborbitales, lo que permitiría reducir dramáticamente los tiempos de vuelos entre las ciudades del mundo. El compromiso del gobierno británico en convertirse en un lugar atractivo para el desarrollo de vuelos comerciales espaciales eventualmente hará que se alcancen mayores logros en materia espacial (Rincon, 2017) (Toivonen, 2017).

La ciudad Ártica de Kiruna en Suecia ya ofrece una amplia gama de servicios en materia espacial proveyendo de un centro espacial para realizar lanzamientos de satélites y posiblemente también en un futuro, una base para las actividades relacionadas con los



vuelos comerciales al espacio por parte de Europa (Spaceport Sweden, 2017) (como se cita en Toivonen, 2017).

De los centros espaciales mencionados, las 4 agencias espaciales con más actividad tanto a nivel histórico como en la actualidad son: la Agencia Rusa, la Agencia Estadounidense, la Agencia Europea y la Agencia China.

En el siguiente gráfico se muestra la cantidad de vuelos por año a lo largo del tiempo por parte de la Agencia Espacial China.

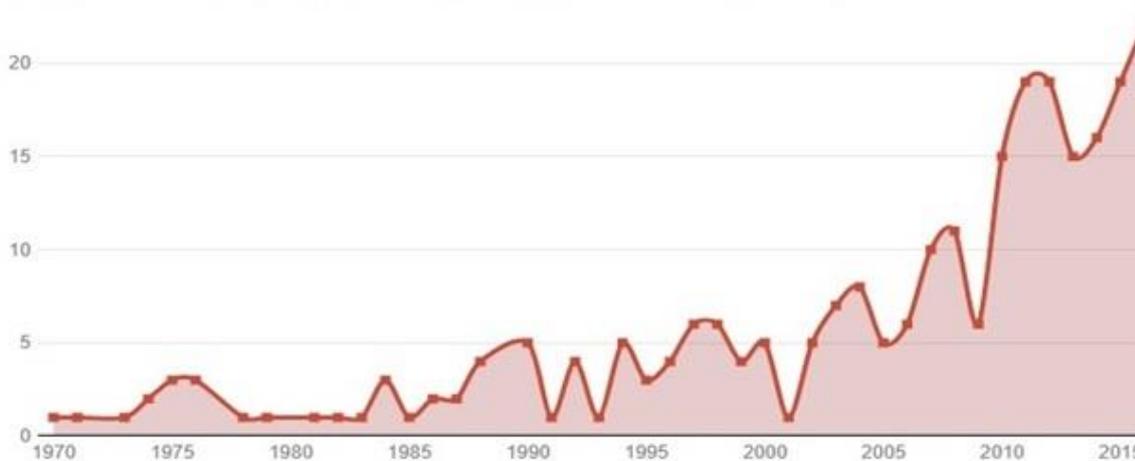


Gráfico 3. Lanzamientos históricos de China. Fuente: Gunter Krebs (tomado el 5/4/2018)

En el siguiente gráfico se muestra la cantidad de lanzamientos por año por parte de la Agencia Espacial Europea.

### Todos los lanzamientos de la Agencia Espacial Europea por año

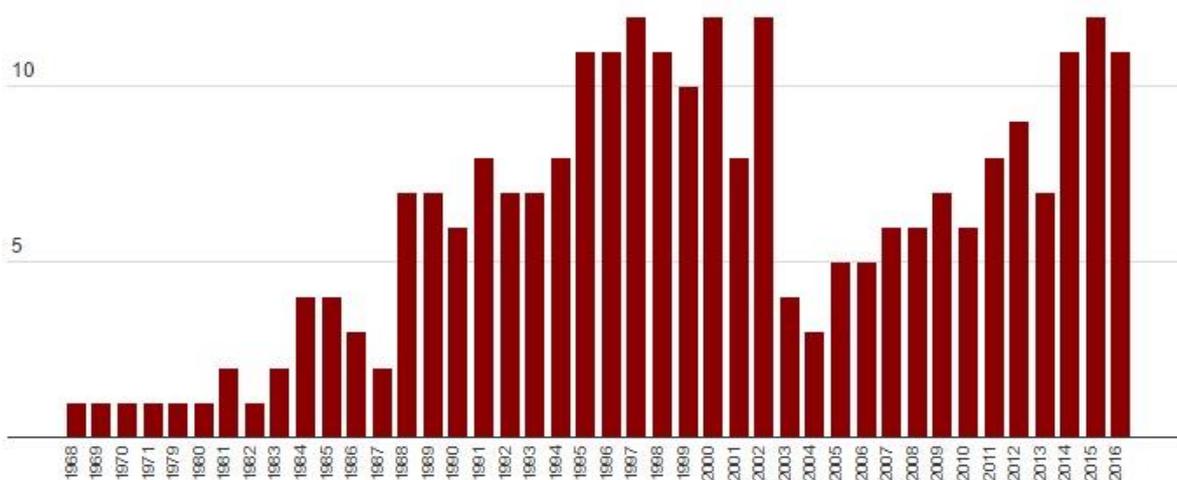


Gráfico 4. Lanzamientos históricos de la Agencia Europea. Fuente: Gunter Krebs (tomado el 5/4/2018)

En el siguiente gráfico se pueden observar los lanzamientos realizados por la Unión Soviética y Rusia desde los comienzos de la era espacial. Rápidamente se puede apreciar que la cantidad de vuelos disminuyó drásticamente luego del colapso de la



Unión Soviética. Sin embargo, como sucede en el caso de los Estados Unidos, incluso los años con menos lanzamientos se asemejan en cantidad a los años con mayor cantidad de lanzamientos por parte de China o Europa.

### Todos los lanzamientos espaciales de Rusia / URSS por año



Gráfico 5. Lanzamientos históricos de Rusia. Fuente: Gunter Krebs (tomado el 5/4/2018)

En el siguiente gráfico se exponen la cantidad de vuelos espaciales que han tenido lugar por parte de la Agencia Espacial Estadounidense (NASA por sus siglas en inglés). Se puede observar que incluso en los años con menos lanzamientos, la cantidad se asemeja a los años con mayor cantidad de lanzamientos por parte de Europa y China.

### Lanzamientos espaciales de Estados Unidos

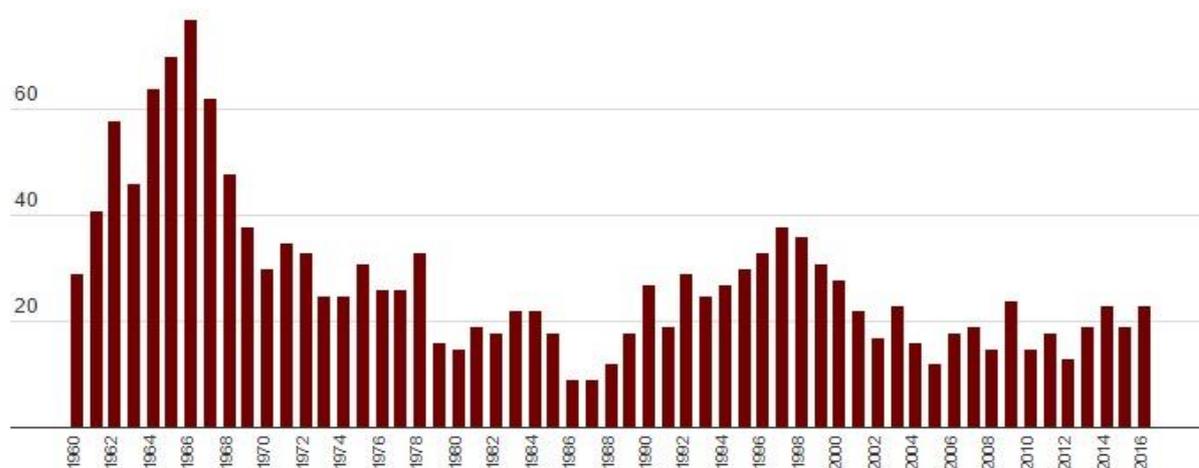


Gráfico 6. Lanzamientos históricos de Estados Unidos. Fuente: Gunter Krebs (tomado el 5/4/2018)



### Cantidad de Vuelos por Centro Espacial en el 2017

De acuerdo a la información expuesta hasta este punto en este escrito, cabe hacer mención a datos concretos de la actualidad que reflejen los niveles de actividad que tienen lugar en los principales Centros Espaciales alrededor del mundo.

En el siguiente gráfico se puede apreciar la cantidad de lanzamientos de vehículos espaciales que han tenido lugar en el año 2017.

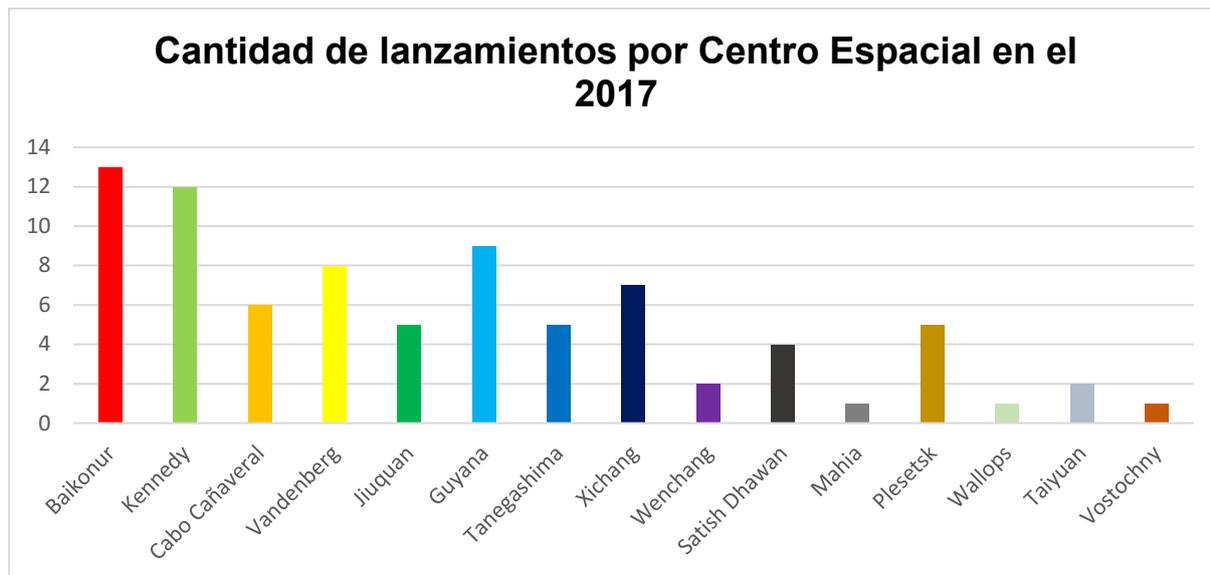


Gráfico 7. Cantidad de Lanzamientos por Centro Espacial en el año 2017. Fuente: Spaceflight101 (2018) Federal Aviation Administration (2018).

Como se puede observar en este gráfico el Cosmódromo de Baikonur, ubicado en la República de Kazajstán, en el centro del continente asiático y manejado por la Agencia Espacial Rusa, fue el centro espacial que más lanzamientos alojó, siendo 13, en total de los cuales 4 fueron vuelos tripulados a la Estación Espacial Internacional con el sistema de propulsión Soyuz, del cual se habló anteriormente en este trabajo.

### Emplazamiento Seleccionado

A partir de la revisión realizada de los principales centros espaciales del mundo se puede destacar uno en particular: El cosmódromo de Baikonur, ubicado en la República de Kazajstán, a cargo de la Agencia Espacial de Rusia.

Este cosmódromo es el que ha alojado a la mayor parte de lanzamientos tripulados al espacio hasta la fecha, y como se ha mencionado, es uno de los centros espaciales más activos del mundo en la actualidad, contando con 13 lanzamientos realizados en el año 2017 como se muestra en el gráfico 7 adjunto más arriba. Todos los viajes de turistas espaciales hasta el momento han sido lanzados desde estas instalaciones. Es por estas razones que analizar en brevedad los impactos ambientales derivados de la actividad espacial en este cosmódromo puede aportar una idea de los potenciales impactos que generaría el Turismo Espacial de llevarse a cabo con regularidad en otros centros espaciales del mundo. Asimismo, este centro se encuentra inmerso en un ecosistema particularmente frágil, lo cual lo hace aún más adecuado como punto de comparación ya que se trata de un caso extremo, al ubicarse en un ambiente especialmente vulnerable a la contaminación. Esto se debe a que está situado en una región desértica, la cual tiene un proceso de absorción de residuos más lento que otros



tipos de ecosistemas y es menos resistente a la contaminación derivada de la actividad de vehículos espaciales que entornos tropicales o subtropicales. A esto se le agrega la intensa actividad de vehículos espaciales desde los años 50 del siglo XX que ha causado un gran impacto negativo sobre el ambiente donde este sitio se encuentra al contaminar la tierra y el aire, como se comenta más adelante en este escrito.

En el siguiente capítulo se procede a analizar el impacto ambiental derivado de la actividad de vehículos espaciales en este cosmódromo, tomando este sitio de lanzamiento como caso extremo y escenario pesimista para considerar los mayores efectos negativos que pueden tener lugar sobre el medio antrópico y natural.

## **CAPÍTULO 3 – DESARROLLO**

En el capítulo anterior se mencionaron los principales tipos de combustibles de los oferentes de turismo espacial. A partir de esto cabe entonces brindar una mejor perspectiva acerca de los residuos que suelen generar los vehículos espaciales como consecuencia de su funcionamiento tanto en condiciones normales como en situaciones extraordinarias.

### **Principales contaminantes generados por la operación de vuelos espaciales**

Los principales tipos de residuos generados por los vehículos espaciales se pueden dividir de la siguiente manera:

- Gaseosos
- Acústicos
- Sólidos
- Líquidos

#### **Gaseosos- Aspectos Generales**

Se inicia este apartado considerando las emisiones de gases con potenciales efectos adversos sobre el medio antrópico y natural. Como consecuencia de la actividad de los vehículos espaciales, diversos tipos de gases y vapores son emitidos y que de acuerdo a su concentración y sus características pueden implicar diversos tipos de riesgos ambientales.

Entre las emisiones gaseosas de los vehículos espaciales se pueden destacar CO (monóxido de carbono), N<sub>2</sub> (Dinitrógeno) H<sub>2</sub> (Dihidrógeno), H<sub>2</sub>O (Protóxido de hidrógeno o Agua) y CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono). Mientras que las aeronaves de combustible sólido adicionalmente inyectan cantidades significativas de partículas de óxido de aluminio



( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y componentes gaseosos de cloro en la atmósfera (Reed & Calia, 1993) (Voigt et al., 2013).

Los efectos atmosféricos de las emisiones de los vehículos espaciales dependen del tipo de motor y combustible utilizado. Las aeronaves de combustibles sólidos compuestas por carburantes de aluminio y oxidantes de perclorato de amonio ( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ) representan sólo una mínima fracción del total de existencias de emisiones emanadas por vehículos espaciales. Por otro lado, como ya se ha mencionado anteriormente en este trabajo, existen los sistemas de vehículos lanzadores de combustibles líquidos de oxígeno/querosén (LOX/Querosén) que son comúnmente utilizados y que también tienen potenciales efectos negativos sobre el ambiente terrestre (Voigt et al., 2013).

Dicho todo esto, cabe destacar que las emisiones de gases por parte de la actividad de vehículos espaciales resultan insignificantes en la actualidad en comparación con el resto de fuentes principales de gases nocivos que existen en el planeta. Para poner esta información en perspectiva, resulta importante comparar la industria espacial con respecto a las otras industrias que también generan impacto sobre el ambiente terrestre. De acuerdo a lo expuesto en Kiselev et al (2012), Voigt et al. (2013) y Goehlich (2014) expresado en porcentajes genéricos, la lista de las industrias más contaminantes está encabezada por la producción industrial con un 60 % de la contaminación total, seguida de la industria automotriz con un 40 %. El nivel de contaminación de la industria espacial comprende el 0,1% de las emisiones de la industria aérea y el 0,01 % de la polución total.

De igual forma, la contaminación de los misiles y tecnología espacial no ha sido lo suficientemente estudiada y aún hay investigaciones que deben realizarse para obtener datos concretos que logren aportar mayor grado de certidumbre (Kiselev et al, 2012). Si se hace una analogía, la industria de aviación, que tiene procesos tecnológicos similares, anualmente emite 153 mil toneladas de sustancias tóxicas a la atmósfera y consume 485 millones de  $\text{m}^3$  (metros cúbicos) de agua. Cabe aclarar, sin embargo, que tan sólo la metalúrgica Norilsk Nickel ubicada en Rusia, emite el doble de contaminantes.

No obstante, a pesar de que las emisiones son pocas en comparación con otras fuentes, como se ha mencionado, algunos combustibles tienen propiedades muy nocivas para los seres vivos. Diversos componentes de combustión altamente tóxicos son utilizados para ciertos tipos de lanzadores. Si algunos de estos combustibles son derramados o rociados en la superficie del planeta podrían entrar en contacto con un ser humano o un animal, causando en algunos casos enfermedades graves o en casos particulares, la muerte (Kiselev et al, 2012).

Estos gases, aunque pueden representar una nivel bajo de emisiones, pueden ser muy tóxicos si contienen berilio o partículas de óxido de berilio, gas de cloro, gas de ácido clorhídrico, gas de ácido fluorhídrico o algunos otros compuestos de flúor. Cuando se utiliza un oxidante de perclorato de amonio, el gas de escape puede contener hasta aproximadamente un 14% de ácido clorhídrico, que es un gas tóxico ya que puede producir graves quemaduras y la muerte. Para motores de vehículos grandes, esto puede significar muchas toneladas de gas altamente tóxico.

En adición, las emisiones de gases nocivos también pueden ser peligrosas en caso de una caída accidental del vehículo espacial sobre la superficie de la Tierra. En dicho caso, pueden esparcir sustancias radioactivas en un área de entre 10 y 20 km alrededor del punto de impacto.

Según Kiselev et al. (2012) varios expertos creen que la contaminación causada por los misiles y vehículos espaciales está creciendo rápidamente. Afirman que le ha tomado



100 años a los automóviles contaminar el aire de las ciudades, pero en el caso de la industria espacial, afirman que le tomaría tan sólo 40 años contaminar el espacio cercano a la Tierra y algunas regiones en la superficie del planeta. Aunque en comparación, la ingeniería nuclear no se queda muy por detrás (45 años), estos expertos consideran que la tecnología espacial liderará la contaminación ambiental. Aunque según Kiselev et al. (2012) estas afirmaciones parecen tener una carga emocional en vez de contar con información que las respalde. Según estos mismos autores precisados, en el caso de la deforestación, cuando se compara cuanto toma eliminar 3.000 km<sup>2</sup> de bosque por una empresa minera, el tiempo estimado es de 10 años.

En lo que concierne a los posibles efectos sobre el medio antrópico y sobre la fauna local, los derrames accidentales de oxidantes líquidos, tales como tetróxido de nitrógeno o gases rojos de ácido nítrico, pueden generar nubes tóxicas de gases corrosivos, las cuales tienen mayor densidad que el aire y que permanecen cerca del suelo. Algunos gases como CO (Monóxido de carbono) o CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono) causan daños a la salud si son inhalados en dosis concentradas. Gases tales como el cloruro de hidrógeno (HCl) de los propelentes sólidos que usan un oxidante de perclorato, dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), tetróxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) o vapores de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) tienen niveles bajos establecidos de cantidades de inhalación permitidas antes de que se produzcan daños en la salud. Los máximos permitidos de concentración en el aire suelen rondar los 200 ppm (partes por millón, es decir, cantidad de miligramos en un kilo de disolución) pudiendo causar daños en la salud con tan sólo 4 horas de exposición (Universitat Autònoma de Barcelona, 2019). El daño potencial que pueden generar estos gases se incrementa con las cantidades emitidas, el nivel de empuje y la duración del fuego del vehículo en las regiones dentro o cerca del sitio de lanzamiento.

A partir de lo explicado en este apartado existen métodos de mitigación y distintas variables a considerar para aminorar las emisiones de gases nocivos para la salud humana y mitigar las emanaciones producidas. Un factor muy importante a tener en cuenta es el clima local al momento de realizar un lanzamiento. La dispersión por el viento y el esparcimiento y dilución con el aire pueden reducir la concentración de materiales tóxicos a niveles tolerables en unos pocos minutos, pero esto depende de las cantidades en las que estén presentes y de las condiciones climáticas locales. Por lo tanto, se debe poner especial atención al momento de programar los lanzamientos cuando existe la posibilidad de que el viento disperse estos gases a áreas pobladas o con presencia de fauna. Para la expulsión de gases extremadamente nocivos (por ejemplo aquellos que contienen óxido de berilio o ciertos componentes de flúor los cuales suelen ocasionar enfermedades crónicas y la muerte en humanos) y usualmente para todos los niveles bajos de propulsión, los gases emitidos desde las instalaciones de prueba deben ser capturados, tratados químicamente, desintoxicados y purificados antes de ser liberados a la atmósfera (Sutton & Biblarz, 2016).

### **Acústicos- Aspectos Generales**

Una vez explicados de manera genérica los tipos de gases y sus efectos sobre el ambiente terrestre se procede en este apartado a exponer brevemente la contaminación acústica que producen los vehículos espaciales como consecuencia de los niveles de ruido emitidos en los lanzamientos.

El ruido acústico es un subproducto inevitable de la propulsión de vehículos espaciales, es particularmente importante en vehículos de lanzamiento grandes que poseen



sistemas de propulsión de gran tamaño. Al momento de confeccionar el diseño del vehículo y gran parte del equipo de apoyo en tierra, especialmente los componentes electrónicos, los niveles acústicos son una consideración primordial. Además de ser un peligro operacional para el personal dentro y alrededor de vehículos propulsados por lanzadores, puede ser una gran molestia para las comunidades cercanas a los sitios de prueba, como se detalla en los párrafos siguientes. La emisión de energía acústica es principalmente una función de la velocidad y densidad de los gases de escape, la configuración de la boquilla y la velocidad del sonido en el medio circundante (Sutton & Biblarz, 2016).

El lanzamiento de vehículos aceleradores pesados crea contaminación acústica con niveles de ruido que pueden alcanzar los 150 decibeles, lo cual supera considerablemente los niveles aceptables para el oído del humano (70 decibeles), animales salvajes, aves y otros organismos vivos. Los niveles de ruido resultan un problema técnico muy complicado de reducir (Kiselev et al, 2012).

Para poner la información en perspectiva, una conversación normal puede registrar unos 65 decibeles. En el rango de 90 a 95 decibeles es cuando los humanos pueden experimentar pérdida de audición ante la exposición prolongada a esos niveles de sonidos. Asimismo, el ser humano experimenta dolor cuando un sonido alcanza los 125 decibeles o más. Los niveles de sonido por encima de 140 decibeles introducen frecuentemente dolor en el oído y los niveles por encima de 160 se vuelven intolerables. Si se considera que los sonidos emitidos por los vehículos espaciales rondan los 150 decibeles y que el vehículo espacial con mayores niveles de ruido registrado fue el Saturn V de la NASA con 204 decibeles, se puede concluir que la contaminación auditiva de la actividad de aeronaves espaciales es muy alta para los niveles auditivos admitidos por el ser humano y los animales salvajes promedio. Es por este motivo que este tipo de afectación ambiental debe tenerse en especial consideración al momento de introducir la actividad de vehículos espaciales en un ecosistema (Sutton & Biblarz, 2016) (Seeker, 2018).

En estos términos, el vehículo químico es el más ruidoso de todos los dispositivos de propulsión de aviones y misiles. La reducción de la potencia de sonido en un 50% reduce el valor en sólo unos 3 decibeles. En términos de sensibilidad humana, un cambio de 10 decibeles generalmente duplica o reduce a la mitad el ruido para la persona promedio. En los sistemas de propulsión pequeños, el nivel de ruido es algo más bajo y, a menudo, se puede ignorar, según la percepción del ser humano (Sutton & Biblarz, 2016).

### **Sólidos- Aspectos Generales**

Entre los principales tipos de residuos generados por la actividad de los vehículos espaciales se encuentran los residuos sólidos. Estos pueden presentarse en la forma de desprendimientos que caen a la superficie de la Tierra provenientes de vehículos lanzados al espacio o también en la forma de partículas sólidas residuales de los combustibles utilizados por las naves espaciales.

La caída de fragmentos representa una de las amenazas principales. Más allá de las caídas planeadas de vehículos espaciales, las cuales los expertos calculan en varias docenas al año, las caídas de emergencia también ocurren. La cantidad de estos objetos que caen anualmente se estima en unos 400 (Kiselev et al, 2012).

En datos más actuales, la NASA estima que caen a la superficie de la Tierra entre 50 y 100 toneladas de basura espacial al año a la superficie de la Tierra (NASA, 2018).



Aunque los principales residuos sólidos se conforman por los ya mencionados fragmentos que se desprenden de los vehículos espaciales, también existen otros tipos de contaminación derivados de los combustibles sólidos. De igual manera, según Sutton & Biblarz (2016) los propelentes sólidos no tienen problemas de toxicidad significativos.

Vale mencionar, sin embargo, que existen varios ingredientes de propelentes [por ejemplo, algunos agentes de reticulación, plastificantes (componente para agregar viscosidad), estabilizadores, endurecedores, catalizadores de combustión y otros aditivos] que pueden ser toxinas con consecuencias dermatológicas o respiratorias, y algunos son cancerígenos o potencialmente cancerígenos en animales. Además, los combustibles sólidos tienen menor cantidad de elementos oxidantes de lo necesario para alcanzar la combustión. Como consecuencia, sustancias no quemadas aparecen como hollín, que pueden generar impactos negativos sobre el ambiente (Kiselev et al, 2012) (Sutton & Biblarz, 2016).

Estos elementos, y los propelentes mezclados no curados que los contienen deben ser manejados con cuidado para evitar que el operador se vea expuesto a estos componentes. Usualmente la versión finalizada o en grano curado no es tóxica (Sutton & Biblarz, 2016).

### **Líquidos- Aspectos Generales**

Por último dentro de los cuatro tipos de residuos principales que surgen como consecuencia de la actividad de vehículos espaciales se encuentran los residuos líquidos. Estos se presentan en la forma de desechos de combustibles de vehículos

A continuación se detallan los peligros más comunes que pueden ocasionarse a partir de los propelentes líquidos.

Varios propelentes, como el tetróxido de nitrógeno, el ácido nítrico, el óxido nítrico y/o el peróxido de hidrógeno, sólo pueden manipularse en contenedores y tuberías de materiales especiales. Cuando cualquier propelente se contamina con productos de corrosión, sus propiedades físicas y químicas pueden alterarse lo suficiente como para que no sea adecuado para su propósito inicial. La corrosión causada por productos gaseosos expulsados es más crítica en aplicaciones donde estos productos pueden dañar estructuras de lanzamiento en el suelo y partes del vehículo, y/o afectar a comunidades y hogares cerca de las instalaciones o del sitio de prueba (Sutton & Biblarz, 2016).

Con el tiempo, algunos propelentes (p. Ej., Peróxido de hidrógeno o nitrometano) pueden volverse inestables en sus tanques de almacenamiento e incluso pueden detonar en ciertas condiciones, dependiendo de las impurezas locales, las temperaturas y las magnitudes de choque. Cuando los oxidantes líquidos (por ejemplo, el oxígeno líquido) y los combustibles, se mezclan involuntariamente, a veces puede ocurrir una detonación. Los accidentes inusuales en el lanzamiento de vehículos de vuelo o accidentes de transporte pueden causar que se produzca esta mezcla de sustancias y que se generen explosiones como consecuencia de ello (Sutton & Biblarz, 2016).

Muchos oxidantes reaccionan con una variedad de compuestos orgánicos. El ácido nítrico, el tetróxido de nitrógeno, el flúor y/o el peróxido de hidrógeno reaccionan espontáneamente cuando entran en contacto con muchas sustancias orgánicas y causan incendios. La mayoría de los combustibles de aeronaves expuestos al aire son fácilmente inflamables cuando se calientan. El oxígeno solo no suele iniciar un incendio



con materiales orgánicos, pero intensificará un incendio existente (Sutton & Biblarz, 2016).

Los accidentes imprevistos durante el funcionamiento del motor o accidentes de tráfico en carreteras o ferrocarriles mientras se transportan materiales peligrosos, incluidos muchos propelentes, han causado derrames que exponen a las personas a incendios intensos y/o riesgos potenciales para la salud. El Departamento de Transporte de los Estados Unidos tiene reglas estrictas para marcar y contener materiales peligrosos durante el transporte y también pautas para acciones de emergencia (Sutton & Biblarz, 2016).

La exposición a muchos propelentes de uso común representa un peligro para la salud humana. Las sustancias tóxicas no quemadas afectan al cuerpo humano de varias maneras, siendo los trastornos de salud ocasionados por estas sustancias, propios de cada tipo de combustible. El ácido nítrico causa quemaduras graves en la piel y desintegración de los tejidos. Asimismo como se menciona más adelante en este trabajo, el contacto de la piel con anilina o hidracina puede causar náuseas y otros efectos adversos para la salud. La hidracina, la monometilhidracina, la dimetilhidracina asimétrica o el hidrato de hidracina son conocidos y sospechados de causar cáncer en animales y humanos como se hace mención más adelante en este escrito. Muchos vapores provenientes de los combustibles causan irritación en los ojos, incluso en pequeñas concentraciones. La ingestión inadvertida de varios de los propelentes líquidos puede causar una grave degradación de la salud pudiendo ocasionar enfermedades terminales. La inhalación de gases de escape tóxicos o combustibles líquidos vaporizados es quizás el peligro más común para la salud. Estos componentes pueden causar daños severos si la exposición es larga (de un día o más) o en concentraciones que exceden los valores máximos establecidos. En los Estados Unidos, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA por sus siglas en inglés) ha establecido límites o umbrales en la exposición y concentración permitidos para la mayoría de los propelentes químicos (Sutton & Biblarz, 2016).

Los combustibles líquidos requieren disposiciones de seguridad especiales, reglas estrictas y procedimientos específicos para el manejo, la transferencia a otros contenedores, el transporte por carretera, la inspección y el trabajo en los motores de las aeronaves que los contienen (como la eliminación de desechos después de las pruebas o después de regresar de una misión espacial). Hay instrumentos disponibles para detectar vapores tóxicos o contenidos tóxicos en líquidos o agua. Para la protección del personal se deben utilizar máscaras (Sutton & Biblarz, 2016).

## **Las principales fuentes de contaminación y otros contaminantes contemplados**

Este capítulo se abrió mencionando los residuos y la contaminación ambiental que produce la operación de los vehículos espaciales. Esta no es la única manera en que la actividad de aeronaves puede afectar al ambiente terrestre. Por este motivo, con el fin de profundizar sobre los diferentes efectos negativos que podrían involucrar al Turismo Espacial, se procede a explicar de forma general los principales tipos de contaminación que derivan de las actividades de los centros espaciales y de los vehículos



Como se ha mencionado anteriormente, las actividades de vehículos espaciales llevadas a cabo en los centros de lanzamiento generan en mayor o menor medida algún efecto sobre el entorno adyacente.

Se ha venido mencionando los distintos residuos resultantes de la actividad de las aeronaves espaciales. Sin embargo, se considera necesario indagar acerca de las actividades que los generan para que el lector pueda entender el contexto de los principales contaminantes y aquellas actividades que producen mayor afectación ambiental como consecuencia de las actividades llevadas a cabo en los centros de lanzamiento y actividades de vehículos espaciales.

En rasgos generales las principales fuentes de contaminación en la actividad espacial son: En primer lugar, el equipamiento en tierra, las instalaciones de producción y construcción por los derrames de combustible. A esto se le agregan los motores, las unidades de vehículos y los fragmentos derivados de los lanzamientos por las emisiones de gases y partículas tóxicas. Y finalmente, los vehículos espaciales que se salen de su órbita y caen a la Tierra, así como también, sus fragmentos derivados que en algunos casos alcanzan la superficie terrestre produciendo contaminación y poniendo en riesgo a las personas y animales que habitan las zonas de impacto de los desprendimientos (Romanov & Romanova, 2003) (Neronov et al., 2012) (Kiselev et al., 2012) (Sutton & Biblarz, 2016).

## **Introducción**

La contaminación en los sitios de lanzamiento se produce principalmente en las siguientes fases de la operación de vehículos espaciales:

- Durante las preparaciones previas al lanzamiento de los vehículos
- Durante el lanzamiento
- Durante el vuelo propulsado
- Así como también en caso de accidentes (Kiselev et al., 2012), (Barmin et al., 2017).

Según Kiselev et al. (2012) algunos expertos afirman que las preparaciones previas al lanzamiento representan el 10% de la contaminación total, mientras que el lanzamiento representa el 20%, el vuelo propulsado el 40%, el vuelo pasivo 10% y en órbita el 20%. Durante los accidentes el grueso de la contaminación aparece en el soporte de lanzamiento en el que tuvo lugar, sin no se consideran las operaciones previas.

En las etapas previas al lanzamiento, la mayor parte de la contaminación se produce en el momento en que se carga combustible al lanzador y la aeronave. Es necesario llenar los tanques de combustible en un período corto de tiempo, con grandes cantidades de combustible que contienen distintos niveles de toxicidad, corrosión e inflamabilidad.

La probabilidad de contaminación se ve incrementada en los casos que:

- Existen derrames de los componentes
- Cuando las tuberías presentan rupturas
- En casos de drenaje, descarga y neutralización de los tanques de combustible, tuberías o equipamiento



- Y en situaciones que acontecen cuando el vuelo es cancelado (Kiselev et al, 2012).

A pesar de que se toman rigurosas medidas de prevención, el vapor y gases de componentes provenientes de los combustibles líquidos continúan filtrándose a la atmósfera y los combustibles continúan derramándose sobre la superficie durante el suministro de los mismos. Los casos más peligrosos son los derrames de hidrógeno durante las instancias de preparación previas al lanzamiento con motores de hidrógeno-oxígeno, debido a que la combinación de estos dos gases puede desatar una explosión (Kiselev et al, 2012).

En estos casos en que se generan filtros y derrames de componentes tóxicos, estos pueden contaminar el suelo, el agua y la atmósfera del sitio de lanzamiento y áreas adyacentes. El vapor tóxico que se genera es movilizado por el viento causando quemaduras en las personas y animales salvajes, pudiendo matar plantas y organismos vivos en el agua (Kiselev et al, 2012).

En la etapa de lanzamiento se genera contaminación con combustibles no quemados o sus óxidos. Esto se relaciona, mayormente con combustibles sólidos. Por citar un ejemplo, un lanzamiento del *Space Shuttle* generaba una capa gruesa de varios centímetros, compuesta por hollín, de un color plateado, envolviendo los alrededores de la plataforma. El hollín es el óxido de aluminio que aparece durante la combustión de toneladas de combustible sólido en los aceleradores de lanzamiento. A pesar de que se cree que el polvo no tiene incidencia sobre el ambiente y es químicamente inactivo, contamina considerablemente el suelo y la atmósfera. Algunos expertos temen que el aluminio en el ambiente podría desatar tumores cancerígenos. El hollín y otros productos de la combustión tienen un impacto negativo sobre la capa de ozono y generan como consecuencia lluvias ácidas (Kiselev et al, 2012).

Durante el lanzamiento de un vehículo acelerador/lanzador, se quema oxígeno en la atmósfera lo que produce contaminación a través de los agentes resultantes del proceso de combustión. Una cantidad considerable de óxido nítrico, dióxido de carbono y otras sustancias venenosas son evacuadas a la atmósfera. En ciertos casos, se le aplica agua a las llamas de escape para reducir la temperatura del flujo de escape y consecuentemente reducir su impacto en la plataforma de lanzamiento, así como también poder disminuir los niveles de ruido generados (Kiselev et al, 2012).

Las altas temperaturas de miles de grados convierten el vapor de agua y los gases de escape en complejos componentes nocivos que son esparcidos por el viento. El lanzamiento de los vehículos aceleradores quema oxígeno, creando subproductos del cloro y flúor que pueden crear agujeros en la capa de ozono y desatar lluvias ácidas y de elementos químicos agresivos (Kiselev et al, 2012).

No obstante, el mayor impacto negativo sobre el ambiente como consecuencia de la operación de aeronaves espaciales es producido por accidentes y catástrofes de vehículos aceleradores en las plataformas de lanzamiento o durante los primeros segundos del vuelo. La gravedad de los impactos puede verse acrecentada debido a explosiones, así como también, a causa de incendios de tanques repletos de combustible de vehículos lanzadores que llevan cargamento (Kiselev et al, 2012). El poder de la explosión, de acuerdo a algunas estimaciones, puede alcanzar entre el 70 y el 90% de la potencia explosiva del trinitrotolueno (más conocido como TNT, compuesto químico explosivo) (Kiselev et al, 2012). Un ejemplo de esta situación fue el accidente ocurrido el 4 de octubre de 1990, cuando el vehículo lanzador Zenith explotó poco después de haber despegado al caerse encima de la plataforma de lanzamiento. La explosión fue tan poderosa que motores de un peso de entre 2 y 3 toneladas fueron expulsados a una distancia de hasta 3 km. En el caso del sitio Baikonur, que es tomado



como centro de referencia en este escrito, en los primeros 20 años de funcionamiento, 3 plataformas de lanzamiento fueron destruidas debido a explosiones (Kiselev et al, 2012).

Para poner en perspectiva el impacto ambiental de una explosión de un tanque de vehículo repleto de combustible en una plataforma de lanzamiento, el impacto derivado de dicha explosión es equivalente al daño ambiental generado por la detonación de un misil con motores a base de combustible sólido. El mayor impacto ambiental de la explosión de un vehículo espacial se da por el gas y humo generados por la misma, que pueden expandirse por hasta docenas de kilómetros (Kiselev et al, 2012).

Los vehículos lanzadores contienen una mayor cantidad de combustible comparado con los misiles de medio alcance. Por lo tanto, su impacto en el ambiente es varias veces mayor. Afortunadamente, las explosiones que han ocurrido en las plataformas de lanzamiento no han tenido ninguna víctima fatal. Sin embargo, accidentes y catástrofes durante el lanzamiento y en los primeros segundos de vuelo, sí han tenido como resultado víctimas fatales. Los accidentes en las etapas iniciales del vuelo son peligrosos tanto para la tripulación del vehículo, los habitantes de los asentamientos cercanos como para las personas ubicadas a cientos de kilómetros de distancia de la plataforma de lanzamiento. Un promedio de dos o tres accidentes graves ocurren anualmente en las plataformas según Kiselev et al (2012).

Una de las mayores catástrofes involucró al *Challenger Space Shuttle* el 28 de enero de 1986. La aeronave explotó 74 segundos después de haber despegado y miles de espectadores lo presenciaron. Siete tripulantes perdieron la vida. La atmósfera, el suelo y el océano fueron contaminados a partir de este incidente (Kiselev et al, 2012).

Los fragmentos resultantes de explosiones como la que fue mencionada en el párrafo anterior pueden alcanzar grandes distancias. En el caso de la explosión del *Challenger*, los fragmentos resultantes cayeron al mar en un área de 50km<sup>2</sup> a una distancia de 1,5 kilómetros de la plataforma. Se ha reportado que fragmentos resultantes de un estallido, llegaron a una distancia de 13 kilómetros luego de que el Delta-2 explotara el 7 de enero de 1997 (Kiselev et al, 2012).

Otro caso fue la explosión del vehículo espacial chino CZ-3E, el 14 de febrero de 1996, en donde los fragmentos llegaron a una distancia de 2 kilómetros de la plataforma. Este accidente junto con el que tuvo lugar en 1995 del CZ-2E han dejado un saldo de 12 muertos y 120 civiles heridos (Kiselev et al, 2012).

En la historia de los vuelos tripulados, 11 cosmonautas han fallecido en accidentes a bordo, mientras que 230 personas perdieron la vida en la superficie a causa de explosiones de vehículos aceleradores en la plataforma de lanzamiento y durante los primeros segundos de vuelo (Kiselev et al, 2012).

El bajo número de víctimas no debería ser un consuelo. Hay que considerar que los vuelos tripulados están actualmente en su fase inicial de desarrollo y aún no se han vuelto masivos, como la aviación, la cual anualmente mata a alrededor de 700 personas. Actualmente, según Kiselev et al (2012) la proporción de muertes por vuelos espaciales es 1 por cada 20 muertes que acontecen en la superficie terrestre. Sin embargo el uso de vehículos lanzadores con preparación pre-lanzamiento completamente automática permite confiar que la situación mejorará. Por citar un ejemplo, los vehículos R-7A necesitan 100 personas en la plataforma para cargar combustible, mientras que en el caso del Angara, no se necesita a nadie presente en la plataforma (Kiselev et al, 2012).

Según los autores Romanov & Romanova (2003) la evaluación de los accidentes no puede estar basada en experiencia práctica sino que la única manera de efectuar un



estudio de los problemas de seguridad es a través de un cálculo de los factores de riesgo. El peligro potencial debe ser evaluado de manera cuantitativa.

Según los dichos de estos autores, la concepción reactiva y *a posteriori* de los incidentes en los lanzamientos de los vehículos debe ser sustituida por una perspectiva preventiva. Los autores proponen estimar los riesgos aceptables en base a pronósticos a través de modelos matemáticos. La evaluación de los riesgos de forma errónea en las primeras décadas de los desarrollos de tecnología espacial ha llevado a que surjan accidentes y como consecuencia de ello que existan víctimas y afectados. En información más reciente, según declaraciones del ingeniero aeronáutico Alejandro Di Bernardi (comunicación personal, 3/05/2019) esta modalidad de evaluación de los riesgos expuesta por Romanov & Romanova (2003) es llevada a cabo en la actualidad.

### **Contaminación por desprendimiento de etapas de los vehículos espaciales**

Uno de los mayores impactos provenientes de la actividad de vehículos espaciales es la caída de fragmentos o etapas de aeronaves. En este apartado se procederá a explicar en mayor detalle acerca de este punto.

La caída de distintos elementos de tecnología espacial en la Tierra genera un serio peligro ambiental. Este impacto deriva de las construcciones específicas de los vehículos lanzadores de la actualidad (Kiselev et al, 2012). Esto se debe a que los lanzadores espaciales han tenido y aún tienen una característica de construcción específica: poseen varias etapas. Esta característica gradualmente se ha ido convirtiendo en un peligro para el ambiente a medida que los vuelos espaciales se han intensificado en cantidad (Kiselev et al, 2012). Sin embargo, el desarrollo de vehículos reutilizables está revirtiendo esta problemática, lo cual se comenta más adelante en este trabajo.

Cuando un vehículo lanzador ingresa a la atmósfera, sus etapas utilizadas caen al suelo desde una altitud de varias docenas de kilómetros. El momento de la caída, así como el peso y tamaño de los objetos, son bien sabidos. Por lo tanto, existe una buena posibilidad de evitar un impacto ambiental negativo (Kiselev et al, 2012).

Las partes de los lanzadores caen en áreas escasamente pobladas a lo largo del trayecto del vuelo y se rompen en fragmentos. Estas partes de acuerdo a lo expuesto por el autor Kiselev et al (2012) son llamadas “Las áreas de impacto de las unidades de separación”. Estas áreas pueden estar localizadas a diferentes distancias: Alrededor de 800 km para vehículos de 2 etapas y unos 2.500 km para vehículos de 3 etapas.

La industria espacial históricamente ha estado llevando a cabo una práctica irracional en lo concerniente al diseño de nuevas áreas de impacto para nuevos vehículos, ya que con algunas excepciones, estas generalmente no coincidían con las ya existentes. Como consecuencia, las zonas de colisión se incrementaron, como se detalla más adelante, así como también, el territorio que fue retirado de su uso económico y fue contaminado por fragmentos de vehículos espaciales (Kiselev et al, 2012).

La contaminación más importante que ocurre en las áreas de impacto tiene lugar cuando las partes de los vehículos espaciales golpean el suelo, caen en pedazos y derraman el combustible restante. Debido a que las zonas de impacto están localizadas en lugares inhabitados, las partes de las aeronaves no causan daño a las personas si el vuelo va de acuerdo a lo planeado. Sin embargo, las desviaciones imprevistas ocurren



ocasionalmente, por lo que es imposible garantizar plena seguridad a las personas que habitan en zonas aledañas a las áreas de impacto (Kiselev et al, 2012).

Las cantidades de metal que caen al suelo difieren de acuerdo al tipo de vehículo. Se estima que unas 15 toneladas de construcciones de metal han caído a la superficie por cada aeronave pesada y mediana rusa. La cifra puede elevarse a varias docenas de toneladas en el caso de vehículos muy pesados. Por citar un caso, unas 180 toneladas de restos de metal cayeron al suelo luego del lanzamiento del lanzador *Saturn-5* con un vehículo *Apollo*. Los expertos estiman que un promedio de hasta 70 toneladas de metal o el 10% del peso total del lanzador se desploma en la superficie terrestre luego de cada lanzamiento (Kiselev et al, 2012).

En relación a este tema, el primer acuerdo ecológico con el fin de mitigar los impactos generados por los fragmentos que han caído al suelo, fue concluido en 1992. Fue firmado por un representante del cosmódromo de Plesetsk y las autoridades del distrito de Uvat, de la región de Tyumen en Rusia. En este acuerdo planearon la recolección de los contaminantes de las etapas de las aeronaves que cayeron sobre el territorio del distrito. Un total de 100 etapas cayeron allí, fueron recolectadas por un helicóptero MI-8 y guardadas en un aeródromo local (Kiselev et al, 2012).

Desde entonces, las entidades de la industria espacial dejaron de ignorar los problemas ambientales que podrían afectar a las poblaciones locales. Estas entidades, a pesar de que no siempre han tenido los fondos requeridos, han puesto los esfuerzos necesarios para limpiar las zonas afectadas (especialmente a partir de la década de los 90 del siglo XX) (Kiselev et al, 2012). En el caso de Baikonur, sitio de lanzamiento que se toma como caso ejemplar en este trabajo, un batallón de 500 hombres fue asignado para limpiar las áreas de impacto de este cosmódromo. Los expertos balísticos trabajaron para reducir las zonas de colisión para facilitar la recolección de fragmentos. Sumado a esto, un nuevo método ecológico fue diseñado, este consiste en romper los bloques que caen, de esta forma se busca reemplazar las habituales explosiones. De esta forma, ahora el llamado cable de explosión es ubicado en la unidad, lo cual lo fragmenta en trozos fácilmente transportables. Además de facilitar la recolección de basura espacial, el método requiere 100 veces menos explosivos y no produce escombros (Kiselev et al, 2012).

Los fragmentos de vehículos que caen a la superficie terrestre, contaminan no sólo la tierra, sino que también los océanos de todo el mundo. Con respecto a la reducción de la contaminación, primeramente es necesario fijar estrictamente el tiempo y el lugar del impacto. Por ejemplo, los Estados Unidos, conduce mediciones telemétricas y de trayectoria de vuelos de ensayo de objetos espaciales para localizar las áreas de impacto de los fragmentos, y usa hidrófonos que facilitan la tarea de localización. La información como el lugar de la caída, la profundidad y temperatura del agua, las corrientes locales, la dirección del viento, la cantidad de residuos de combustibles y el estado del océano permiten calcular el peligro ambiental al determinar la contaminación en el área de impacto y su dispersión.

La elección del área de impacto solía depender, por un lado, de la necesidad de optimizar las características del vehículo lanzador, incluyendo aquellos que contienen etapas separables. Por otro lado, dependía también de la intención de hacer caer las partes en zonas escasamente pobladas. Por lo tanto, el cambio en la consideración de las áreas de impacto como lo más ambientalmente favorable, implicó que se modificaran las características de las nuevas generaciones de vehículos espaciales. Estas nuevas consideraciones son estudiadas por el centro espacial ruso Khrunichev, en particular. Un ejemplo de esto son las modificaciones implementadas en la construcción del Proton-M moderno, que permitieron reducir el área de impacto necesaria, a un radio de



3.000 km<sup>2</sup> menor. Asimismo, la utilización del prometedor vehículo Angara permite que no se necesite un área de impacto para la primera etapa (Kiselev et al, 2012).

Sin embargo, estos nuevos métodos para reducir las áreas de impacto deben implementarse en todas las agencias espaciales del mundo. Debido a la incorporación de economías emergentes a las actividades espaciales, han incrementado los riesgos generados por la caída de fragmentos de vehículos espaciales (Kiselev et al, 2012). Particularmente, crece la presión ambiental en los océanos de todo el mundo. Países como Rusia y Noruega descargan las partes de sus lanzadores en el Océano Ártico. El Océano Pacífico es el lugar de evacuación para tecnologías espaciales de los Estados Unidos, Japón y la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés) así como también para objetos sacados de órbita intencionalmente por centros de control de misión (Kiselev et al, 2012).

Al considerar cuál se debe optar, si contaminación por basura espacial sobre el suelo o sobre los océanos, hasta el momento, no existen recomendaciones científicas claras al respecto. Sin embargo, Kiselev et al (2012) sostiene que la contaminación sobre la tierra tiene menores impactos. Muchos componentes de propelentes y de la Dimetilhidrazina Asimétrica (DA) en particular (componente que se analiza en detalle más adelante en este trabajo), se disuelven en agua ilimitadamente. La contaminación producto de la DA se esparce más rápidamente en el agua que sobre el suelo. Esta no puede localizarse como sobre la tierra, cerrando el área y descontaminándola. En el agua, la DA se introduce fácilmente en partículas en el océano y consecuentemente podría introducirse en el organismo de seres humanos (Kiselev et al, 2012).

Por otra parte, otras de las formas de contaminación que derivan de la caída de fragmentos y partes de vehículos espaciales es la contaminación a través de los residuos de combustible remanentes en las distintas partes que colisionan contra la superficie terrestre. Luego de que un motor de una de las etapas deja de funcionar, su tanque todavía contiene algunos residuos de combustible. El propelente también permanece en tuberías, bombas y válvulas. Este combustible residual en los tanques puede ser clasificado en reservas de seguridad y en combustible no quemado.

Los tanques están cargados con un pequeño exceso de modo de que los motores no se detengan durante el vuelo por falta de combustible. Las reservas de seguridad usualmente comprenden del 2 al 3 % de la cantidad total. La proporción puede parecer pequeña en un principio, sin embargo en lanzadores pesados puede comprender docenas de toneladas en cifras absolutas (Kiselev et al, 2012).

De acuerdo al diseño del vehículo espacial, la etapa de separación se cae con residuos de combustible al suelo o descarga el combustible en la atmósfera y se cae sin él. En el primer caso, el 90 % del carburante se quema debido al contacto con oxígeno en el aire. El combustible restante es esparcido por el viento en forma de gotas y vapor a largas distancias para luego introducirse en depósitos de precipitaciones atmosféricas. Algunas etapas caen en los mares y océanos y contaminan las aguas.

En el segundo caso, se descarta la contaminación en el suelo. Por ejemplo, en el caso del accidente con el Proton-5 el 5 de julio de 1999, cuando colapsó en las capas más altas de la atmósfera, no se produjo contaminación con combustible no quemado en el área de impacto. Esto se debió a que los fragmentos, incluyendo los tanques de combustible del lanzador BreezeM, estaban secos cuando cayeron al suelo (Kiselev et al, 2012).

De acuerdo a los dichos del autor Kiselev et al (2012), la cantidad de combustible que se derrama sobre el suelo puede ser considerablemente reducida a niveles nulos a través de la dispersión en la atmósfera. El impacto tóxico sobre el terreno disminuye, sin



embargo la contaminación en la atmósfera se incrementa. Los componentes de los carburantes son arrastrados por el viento a grandes distancias. Como consecuencia, el impacto total sobre el ambiente no decrece.

La manera de evitar dicha contaminación es creando tecnología espacial orientada a preservar la naturaleza y haciendo que los motores quemen el llamado combustible "puro".

Un paso importante para reducir la contaminación ambiental causada por los residuos de combustible sería eliminar completamente las reservas de emergencia y al mismo tiempo, lograr una total combustión del carburante durante el vuelo. Este planteamiento se tornó posible gracias a, por un lado, los reabastecimientos de combustibles de alta precisión, y por otro la creación de óptimos sistemas de control de motores (Kiselev et al, 2012). Este método ya ha sido implementado en la nueva modificación del lanzador Proton-M del centro Khrunichev (Kiselev et al, 2012).

El principal método para contener la contaminación causada por los componentes tóxicos de los combustibles, es descartar todas estas clases de carburantes y cambiarlos por propelentes que sean ecológicamente seguros para lanzadores pesados. Ejemplos ya mencionado de este tipo de lanzadores son el Angara y el vehículo operado por la empresa de Turismo Espacial Blue Origin, ya que sus productos de combustión son vapor de agua (Kiselev et al, 2012).

Por otra parte, la colisión, o desviación de su órbita de un vehículo espacial y sus fragmentos representa otro tipo de contaminación a destacar. Es necesario distinguir entre:

- Las desviaciones de órbita controladas o autorizadas
- Y las colisiones de carácter fallido, como es el caso de una colisión accidental o de emergencia

Los descensos controlados con el normal funcionamiento de todos los sistemas, generalmente no supone un peligro para la población o las estructuras en la superficie. En un momento prestablecido los frenos de los motores se encienden y funcionan durante un cierto período de tiempo, dirigiendo los fragmentos hacia una zona oceánica en donde se prohíbe la navegación para efectuar el deceso del objeto. El área debe ser lo suficientemente grande ya que la trayectoria de los fragmentos, lo cuales pueden variar tanto en tamaño como en masa, es prácticamente impredecible (Kiselev et al, 2012).

Estimar límites aproximados para el área de impacto y el momento de ingreso a la atmósfera no resulta una labor difícil. De esta forma, la velocidad y la resistencia aerodinámica del objeto son conocidas (Kiselev et al, 2012).

Es posible pronosticar el momento del impacto en el suelo sólo durante el 15% del tiempo previo a la colisión, por lo que el nivel de precisión de medición es el que se pueda lograr durante ese lapso de tiempo. Sin embargo, en la mayoría de los casos, este período suele ser suficiente para tomar las medidas de seguridad necesarias (Kiselev et al, 2012).

De igual forma, el descenso de los vehículos espaciales y sus fragmentos a la atmósfera o a la superficie terrestre es una operación complicada desde el punto de vista técnico y de control. Un vehículo aéreo descendiente debe poseer determinadas características, primordialmente, como tener capacidad de control. A partir de esto, los especialistas determinan la trayectoria del vehículo espacial, la ubicación del punto por donde ingresará a la atmósfera (usualmente de 110 a 130 kilómetros por encima de la Tierra)



y el momento de acercamiento a dicho punto. Cuando el vehículo se aproxima al punto de inserción, los motores a bordo se encienden para frenar la caída (Kiselev et al, 2012).

No obstante, la amenaza de fragmentos de aeronaves que caen a la superficie se incrementa sustancialmente en el caso de un vehículo y fragmentos incontrolables, ya que no se sabe si estas partes se quemaran por completo en la atmósfera o si alcanzarán la superficie y en qué forma lo harán (Kiselev et al, 2012).

Adicionalmente, los impactos de emergencia son incluso más peligrosos. Podrían ser causados por una variedad de razones incluyendo a la llamada “hinchazón” de la atmósfera causada por la actividad solar, la incapacidad del centro de control de controlar el vehículo, la ruptura repentina de la aeronave en fragmentos, el agotamiento de combustible o la incapacidad del vehículo de maniobrar (Kiselev et al, 2012).

Estos tipos de colisiones de vehículos espaciales y sus fragmentos supone una amenaza para la vida humana, tanto físicamente, como psicológicamente, provocando ansiedad y miedo afectando la salud de los individuos (Kiselev et al, 2012). Asimismo, las consecuencias económicas también son importantes. La evacuación de la población a áreas seguras y la suspensión de las actividades económicas genera pérdidas muy costosas (Kiselev et al, 2012).

A partir de lo comentado hasta aquí, se puede deducir que los mayores impactos derivados de la operación de las aeronaves espaciales se ocasionan por un lado, por la caída de fragmentos y vehículos fuera de control, los cuales terminan ocasionando el mayor efecto adverso sobre el ecosistema por la propia colisión y el riesgo de caída sobre zonas fuera de las áreas de impacto. Por otro lado, se encuentran los derrames de combustibles durante los procesos de relleno, de traslado de los mismos y de operación general de los vehículos.

Todo esto, como ya se ha venido mencionando, tiene un efecto sobre el ambiente. En el siguiente apartado, se detalla más acerca de la afectación producida sobre el ecosistema local que generan las actividades de los centros espaciales, tanto sobre el medio antrópico como sobre el medio natural.

## **Afectación sobre el medio antrópico y natural de la contaminación derivada de la operación de vehículos espaciales en centros de lanzamiento**

### **Aspectos generales**

El lector a esta altura ya puede comenzar a percatarse de que de hecho, las actividades de los vehículos espaciales y centros de lanzamiento afectan al ambiente circundante. A lo largo de este trabajo muchos de los datos aportados pueden dar una visión muy pesimista acerca del desarrollo sostenible del Turismo Espacial. Sin embargo, como también ya se ha comentado en este escrito, las prácticas actuales, y las nuevas tendencias, auguran un mayor grado de sostenibilidad en las actividades de aeronaves y centros espaciales alrededor del mundo en la actualidad y en el futuro como se explica en este escrito.



En este apartado se continúan detallando, las prácticas que tienen lugar, y que han tenido lugar en los inicios de la era espacial que producen y que han producido los grandes daños ambientales que en la actualidad se buscan evitar.

El mayor impacto ambiental de las actividades de los centros espaciales y cosmódromos, se ha dado por las prácticas insostenibles que se solían llevar a cabo en los comienzos de la era espacial, en la década de los 50 del siglo XX. Durante este período se dio la mayoría de los impactos, hasta que en la década de los 90 del mismo siglo se comenzaron a tomar medidas para mitigar los daños ocasionados.

Según Kiselev et al. (2012) los sitios de lanzamiento son peligrosos para el ambiente terrestre. De acuerdo a las fuentes recopiladas por estos autores, los expertos admiten que “un cosmódromo es una zona que posee un peligro potenciado”, ya que contiene explosivos, y fuentes de corriente eléctrica, materiales y componentes inflamables, oleoductos de alta presión y líquidos tóxicos, entre otras fuentes potenciales de riesgo.

A pesar de que se toman varias medidas para asegurar que las operaciones se lleven a cabo de manera segura en los sitios de lanzamiento, los problemas de seguridad aún no se han resuelto completamente. La atención ha estado históricamente puesta principalmente en la seguridad del personal y la prevención de accidentes y catástrofes, dejando de lado la protección ambiental (Kiselev et al, 2012).

Cuando los sitios de lanzamiento fueron construidos en los años 50, no se prestó atención en lo absoluto a la preservación de la flora y fauna en la zona de ubicación del sitio. Como consecuencia, con el transcurso de los años, los problemas ambientales se han hecho evidentes (Kiselev et al, 2012). En la actualidad, prácticamente todos los sitios que se encuentran operativos producen algún tipo de impacto negativo sobre el ambiente, en la flora, la fauna, el paisaje, la atmósfera, el agua, el microclima existente, etc. (Kiselev et al, 2012).

La construcción de sitios de lanzamiento interfiere considerablemente con las condiciones naturales existentes: las temperaturas promedio anuales se incrementan, los vientos cambian en dirección y fuerza y los niveles de agua se alteran. El paisaje también se ve altamente modificado luego de la construcción de grandes emplazamientos que comprenden decenas de edificios, como instalaciones de prueba, torres de servicio y plataformas de lanzamiento, edificaciones que suelen tener alrededor de 100 metros de alto, y se localizan a una distancia de 2,5 km unas de otras, esparcidas a lo largo de varias hectáreas. Estas construcciones suelen tener grandes cimientos de concreto que van de 50 metros o más, bajo tierra, incluso más cuando se construyen en zonas pantanosas. Por lo tanto, el paisaje subterráneo también se ve afectado (Kiselev et al, 2012). Asimismo, las plataformas poseen grandes huecos subterráneos para desviar las emisiones de gases de los motores (Kiselev et al, 2012). Un caso fue el de la plataforma *Gagarin start*, desde la cual Yuri Gagarin despegó hacia el espacio por primera vez en la historia. La plataforma tiene 45 metros de profundidad, 250 metros de largo y alrededor de 100 metros de ancho. Cerca de un millón de metros cúbicos de tierra fueron extraídos durante la construcción, lo que afectó considerablemente el paisaje (Kiselev et al, 2012).

Además de plataformas, otros emplazamientos e infraestructuras son construidos en los sitios de lanzamiento, depósitos de combustible, oxidantes, gases comprimidos, agua, centros de control, etc. Por ejemplo, al momento de construirse el emplazamiento de Baikonur, el cual se estudia en este trabajo, se construyeron 115 km de ferrocarriles, alrededor de 200 km de carreteras y tuberías, alrededor de 300 km de líneas de comunicación, cerca de 150 km de líneas de transmisión y un asentamiento para 15.000 personas (Kiselev et al, 2012).



La construcción intensiva de sitios de lanzamiento desde mediados de la década de los 50 hasta fines de la década de los 60, sin duda contribuyó al deterioro del paisaje del planeta, aunque el impacto no haya sido el más importante. La Unión Soviética construyó los sitios Baikonur y Plesetsk y expandió la base Kapustin Yar. Los Estados Unidos construyó los centros de prueba del Este en Cabo Cañaveral en el estado de Florida y el centro de prueba del Oeste en Vandenberg en California (Kiselev et al, 2012).

En el caso de la construcción del sitio Cabo Cañaveral, este produjo grandes cambios en el paisaje. El más importante fue causado por el traslado de unidades de transporte de 2.000 toneladas a través de una carretera de tierra, que llevaban cargamentos de miles de toneladas, incluyendo el lanzador Saturn-5 con el vehículo espacial Apollo anclado (Kiselev et al, 2012).

La necesidad de observar estrictamente los ángulos de inclinación permitidos para la carretera, el radio de los giros y la elevación encima de la tierra pantanosa de la zona implicó un trabajo intenso en la construcción. Esto provocó modificaciones en el terreno forzando a los animales, aves y peces a migrar hacia otras regiones (Kiselev et al, 2012).

Un detalle específico de la construcción de los sitios de lanzamiento que genera contaminación ambiental es la alta concentración de plataformas y la imprevisibilidad en la construcción de nuevas estructuras de este tipo, ya que usualmente no se sabe dónde se pondrán en operación nuevos lanzadores. Debido a que cada vehículo demanda una edificación específica, se requiere de una plataforma de lanzamiento especial. Por lo tanto, extensiones considerables de territorio son utilizadas, pero a medida que los lanzadores se vuelven obsoletos, las instalaciones son abandonadas y se convierten en fuentes de contaminación ambiental (Kiselev et al, 2012).

En relación a esto, la NASA gasta entre US\$ 8 millones y US\$ 10 millones al año para limpiar las plataformas abandonadas, que contienen residuos de sustancias tóxicas. Según la revista Popular Science (2011) existen 267 áreas en el Centro Espacial Kennedy de las cuales 141 han sido limpiadas.

Un ejemplo donde se redujo la contaminación a través de la reutilización de una plataforma de lanzamiento fue cuando el diseñador de aeronaves soviéticas, Sergei Korolev, creó un misil R-7 de alto rango y pensó en la posibilidad de su uso amigable con el ambiente. De este modo, el R-7 fue fácilmente modificable para hacer el lanzador Vostok que despegó desde la plataforma del R-7. Debido a que fue innecesario construir una nueva plataforma y ya que la estructura existente resistió más de 200 lanzamientos, se logró aminorar el impacto ambiental (Kiselev et al, 2012).

Los sitios de lanzamiento suelen tener una o más plataformas localizadas a una distancia segura una de otra (desde 250-350 metros hasta 2,5 km). Esto es así, de manera de que una explosión de una unidad de transporte cargada de combustible de una plataforma no dañe otras edificaciones y no afecte al personal (Kiselev et al, 2012).

La distancia segura entre plataformas de lanzamiento y otras edificaciones aumenta considerablemente la extensión territorial de un Centro Espacial. Un sitio con una plataforma ocupa un territorio aproximado de 5 km. En el caso de dos plataformas, el territorio aumenta en 1,5 veces y en el caso de tres plataformas aumenta en 2 veces su tamaño. Por ejemplo, el sitio de emplazamiento para el lanzador Energia ocupa un territorio de alrededor de 10 km<sup>2</sup> en Baikonur. En los Estados Unidos había 48 plataformas en el centro de pruebas del Este en la década de los 80, y 53 plataformas en el centro Oeste. Todas esas edificaciones cambiaron considerablemente el paisaje de los territorios y el microclima del área (Kiselev et al, 2012).



De acuerdo a lo expuesto en Kiselev et al (2012), una comisión especial que estudió el Centro de Prueba del Este y el Centro Espacial Kennedy en los Estados Unidos, concluyó que 30 años de intensas operaciones tornó al territorio y áreas adyacentes a las plataformas de lanzamiento en entornos ambientalmente devastados. Algunas plataformas sirvieron un reducido número de lanzamientos ya que los lanzadores fueron reemplazados por otros nuevos y nuevas plataformas fueron construidas para lanzarlos. Algunas plataformas no fueron utilizadas en su totalidad. La comisión concluyó que las principales razones que derivaron en dicha situación fueron por un lado, la infraestructura particular de las plataformas diseñadas para un lanzador en concreto, y por otro lado, el rápido desarrollo tecnológico que aceleró el envejecimiento del equipamiento al volverlo obsoleto y dejarlo en desuso.

Como se ha mencionado, la flora y fauna de las áreas adyacentes a los sitios de lanzamiento están sujetas a grandes presiones ambientales. Los impactos sobre el ecosistema varían según el tipo de clima y característica de la región:

En el caso de los sitios localizados en zonas tropicales y subtropicales, estos drenan las tierras pantanosas y cambian el régimen hidrológico autóctono. Un caso fue el del ambiente en Cabo Cañaveral el cual se vio modificado, eliminando parcialmente los pantanos, contaminándolos con distintos tipos de desechos mecánicos y transformando el hábitat de los organismos vivos de la zona (Kiselev et al, 2012).

En cuanto a los sitios de lanzamiento ubicados en zonas de estepa y semi-desérticas, estos deterioran considerablemente la cobertura vegetal que previene que la parte superior del terreno se fragmente en varias partes. La flora se daña producto de los vehículos transitando por las carreteras, los movimientos de grandes cantidades de personas, la construcción de edificaciones y por los desechos industriales y de otros tipos. Como consecuencia, el ambiente desértico se deteriora, tomándole décadas a la naturaleza restaurar la cobertura vegetal en los sitios de lanzamiento (Kiselev et al, 2012). Como se ha comentado en este escrito, un caso de este tipo es el Cosmódromo de Baikonur, el cual se localiza en una región desértica.

Para el caso de los sitios de lanzamiento ubicados en áreas boscosas, estos afectan el ambiente natural a través de la extracción de madera. Los árboles restantes se enferman por la contaminación en la atmósfera y del suelo y particularmente por las lluvias ácidas (Kiselev et al, 2012).

De esta forma, la vida silvestre que habita en las áreas de los sitios de lanzamiento, en muchos casos, se muere gradualmente o emigra hacia otras áreas (Kiselev et al, 2012). Las aves, insectos y animales en general, se ven afectados por factores negativos tales como: el ruido, grandes concentraciones de personas, la operación de maquinarias, luces brillantes, entre otros. El cambio en la composición química del agua causado por los desechos de los misiles y residuos industriales también afecta a los organismos vivos, y puede matarlos. Asimismo, la flora y fauna de la región se ve afectada por incendios en las estepas y en los bosques luego de accidentes y caídas de fragmentos de aeronaves espaciales, la contaminación del territorio a causa de los escombros de las construcciones de metal, concreto, basura, derrames de combustible, entre otros factores (Kiselev et al, 2012).

En adición a ello, los sitios de lanzamiento interfieren con la vida normal no sólo de los animales salvajes y formas de vida más pequeñas, sino que también de los seres humanos que habitan las zonas aledañas.

Unas de las formas en la que la actividad espacial interfiere es en el reasentamiento de los locales y la eliminación de los objetos y símbolos culturales de las poblaciones autóctonas. En algunos casos, el exilio de las tierras por parte de los locales es muy



duro. Tal es el caso de Cabo Cañaveral, en donde parte del territorio retirado aloja un cementerio de la comunidad indígena americana. La población nativa, manifestó su descontento con la quita del territorio y reclamó que se le devuelvan las tierras (Kiselev et al, 2012).

Otro factor negativo es que las actividades usuales de los locales están inmersas en las áreas adyacentes a los sitios y a lo largo de las rutas de vuelo. Un caso como este, fue el de los pesqueros japoneses, que protestaron en contra del uso del océano como área de asimilación de los desprendimientos de los lanzadores que caen durante el proceso de despegue y vuelo de los vehículos espaciales. Dichas protestas redujeron la cantidad de vuelos por año a 3 (Strom, 2005) (Kiselev et al, 2012).

Los residuos provenientes de los equipamientos para las actividades espaciales también son un problema para los locales. En el caso del cosmódromo de Baikonur, luego de 40 años de operaciones, el sitio se vio afectado por restos de aeronaves, residuos industriales, fragmentos y otros tipos de desechos. Desafortunadamente, los impactos de dichos residuos no fueron controlados durante los comienzos de la exploración espacial. Como consecuencia, para fines del siglo XX, se debió atender con urgencia las zonas afectadas, limpiarlas y revivirlas (Kiselev et al, 2012).

El sitio de Baikonur acumuló 5.000 toneladas de restos de metal provenientes de construcciones, aeronaves espaciales y lanzadores, en un área de 2,5 millones de hectáreas. Los residuos que caen sobre tierras fértiles, impiden que se pueda trabajar sobre esta tierra y que se pueda criar ganado. La población local está principalmente preocupada por la contaminación derivada de los restos de combustibles tóxicos de vehículos espaciales como el caso que se menciona en este trabajo, de la Dimethylidrazina Asimétrica (Kiselev et al, 2012).

Como se puede deducir, la afectación de las construcciones que requiere el establecimiento de un Centro Espacial genera impactos sobre el ecosistema local y los asentamientos poblacionales próximos. Incluso si se toman las medidas necesarias, la afectación sobre la flora y fauna siempre estará presente al momento de construir un nuevo sitio de lanzamiento. La elección de la zona donde se localizará el centro es clave para evitar mayores impactos.

Por otro lado, una gran parte de la contaminación es producida por la propia actividad del sitio y los vehículos que en este operan. Por esto, es primordial tener en consideración las tecnologías a utilizar. El uso de vehículos reutilizables que no arrojen fragmentos a la superficie, la utilización de combustibles ecológicos y la reutilización y reciclado de plataformas existentes son fundamentales para evitar los impactos derivados de la operación de vehículos espaciales.

Desde la perspectiva de este trabajo, se cree que la construcción de nuevos centros de lanzamiento no representa una buena decisión desde el punto de vista ambiental, y resultaría más ecológico intentar mejorar la operatividad de los ya existentes y continuar en la mejora de las tecnologías de las aeronaves lanzadas. Sin embargo, de ser necesario el desarrollo de nueva infraestructura para las actividades de naves espaciales, es necesario realizar un análisis de impacto previo de manera precisa y exhaustiva para conocer las potenciales afectaciones que la construcción y operación de un sitio de lanzamiento implicaría en el ecosistema y las comunidades locales.



## **Afectaciones ambientales generales en los sitios de lanzamientos- Caso testigo: Cosmódromo de Baikonur**

Como se hizo alusión en el capítulo anterior, el Centro Espacial que se toma como caso testigo para el análisis de la afectación ambiental derivada de la actividad de vehículos espaciales es el Cosmódromo de Baikonur ubicado en la República de Kazajstán y operado por Rusia. En este apartado se explican las principales afectaciones que ha recibido el área dónde se encuentra ubicado este sitio de lanzamiento a causa de las actividades de vehículos espaciales.

Varias entidades de Rusia y Kazajstán han estudiado los impactos ambientales en los ecosistemas adyacentes al cosmódromo. En este apartado se presentan algunos estudios que analizaron la afectación percibida por los componentes principales del ecosistema que forma parte de los territorios circundantes a Baikonur.

Primeramente cabe resaltar que existen divergencias entre diferentes fuentes. Las dos partes que se pueden observar son:

- Lo que manifiestan los locales
- Lo que manifiestan las autoridades del Centro Espacial.

Existe un estudio llevado a cabo por Kuzgibekova et al. (2016) que toma una muestra de 4.078 niños y el cual reunió un grupo de médicos integrado por cardiólogos, gastroenterólogos, neurólogos, entre otros médicos especialistas. Este estudio encontró que más del 60% de los niños que habitan las regiones más ambientalmente desfavorables de Kazajstán presentan enfermedades y distintas patologías entre las que se destacan: patologías de la sangre y órganos hematopoyéticos, trastornos mentales y del comportamiento, enfermedades respiratorias y digestivas, anomalías congénitas, deformaciones, entre otras. La tasa de morbilidad (no confundir con mortalidad) infantil es varias veces más alta que en las regiones ambientalmente más favorables del país de estudio. Sin embargo, estos efectos no pueden ser atribuidos enteramente a las actividades que se llevan a cabo en el cosmódromo de Baikonur, y de hecho, no se puede estimar precisamente en qué proporción influye el Centro Espacial en la afectación ambiental de esta región. De todas maneras, estos efectos sí son atribuidos a las actividades antrópicas, y en relación a esto, está claro que las actividades desarrolladas en el cosmódromo hacen sus aportes en generar un ambiente más desfavorable en esta área que en el resto de Kazajstán.

Estos contundentes hallazgos son contrastados por las autoridades del cosmódromo quienes afirman que las personas que habitan el poblado de Baikonur y quienes en su gran mayoría se desempeñan laboralmente en este centro espacial, no presentan patologías relacionadas a la actividad del mismo (Kiselev et al. 2012) (Abdrzak & Musa, 2015).

Por otra parte, en el estudio realizado por Koroleva et al., (2018) se estudia el impacto en el ecosistema terrestre a partir de los lanzamientos del Soyuz (vehículo utilizado para todos los vuelos de Turismo Espacial hasta la fecha) y del Proton desde el cosmódromo de Baikonur. En este trabajo se encontró que las operaciones de los vehículos de lanzamiento generan efectos físicos, químicos y pirogénicos en los ecosistemas de las regiones de impacto de las etapas de separación. Los daños físicos de los ecosistemas en los sitios de impacto de las primeras etapas del Proton que se estudiaron, ocurrieron sobre el suelo y la cobertura vegetativa esparciendo los fragmentos más grandes en un área de 1.229 m<sup>2</sup>. En el caso de los fragmentos más pequeños, su área de esparcimiento fue de 22.044 m<sup>2</sup>. El área de incendios sobre la vegetación alcanzó los



245.588 m<sup>2</sup>, mientras que los derrames de componentes de combustibles [tetróxido de nitrógeno (TN) y dimetilidrazina asimétrica (DA)] llegaron a los 737 m<sup>2</sup>. Se detectó DA principalmente en la nieve de la región de impacto de la primera etapa del Proton, en donde su contenido alcanzó los 2.200 mg, el nivel de contenido más común fue entre los 0,1 y los 0,2 mg, y en algunas muestras esporádicas fue de 1,5 mg. Durante el inicio de la primavera el contenido de DA fue de entre 0,09 y 0,69 mg en el suelo, en verano no excedió los 0,05 mg. En las áreas con presencia de derrames de TN el contenido de NO<sub>3</sub> (nitrato) se incrementó hasta los 22,3 g en la nieve y 24,8 g en el suelo. En los lugares con presencia de derrames de DA, el valor del ph en la nieve y en el suelo se incrementó hasta los 10,3 y 9,4 respectivamente. Los valores base pasaron de 5,1 a 7,9 y de 6,6 a 8,3 respectivamente. La contaminación por TN en la nieve y el suelo llevó a un decrecimiento del valor del ph a 0,9 y 2,3 respectivamente. Estas variaciones del ph del suelo indican que estos se vuelven más pobres, con menos nutrientes y menor fertilidad (Koroleva et al., 2018).

En el caso del vehículo Soyuz, el esparcimiento de los grandes y pequeños fragmentos de la primera etapa alcanzó los 325 y 43.627 m<sup>2</sup> respectivamente. El área de incendio de vegetación llegó hasta los 8,556 m<sup>2</sup> y el derrame de componentes de combustible hasta los 129 m<sup>2</sup>. Los contenidos de los hidrocarburos totales de petróleo en las áreas donde se produjo un derrame de querosén t-1 se incrementó hasta los 4.354 mg en la nieve y 45.167 mg en el suelo, mientras que los valores base fueron entre 0,03 y 0,05 mg y entre 5 y 84 mg respectivamente. La operación del vehículo durante la evacuación de fragmentos de la primera etapa puede expandir la zona de impacto en 7 veces su tamaño. En las áreas de impacto de las segundas etapas del Proton y del Soyuz el principal daño se asocia con la contaminación mecánica de los ecosistemas provocada por los fragmentos que impactan en dicha región provenientes de las etapas que se desprenden de las aeronaves (Koroleva et al., 2018).

Estas llamadas regiones de impacto de las distintas partes de los vehículos espaciales que se desprenden durante el proceso de lanzamiento, cubren un área de millones de hectáreas en la República de Kazajstán y Rusia. Están localizadas a una distancia de entre 300 y 1.500 km del complejo de lanzamiento de Baikonur (Koroleva et al., 2018).

En estas áreas no hay edificaciones, ni sistemas utilizados para las actividades del cosmódromo, del mismo modo, no existen residentes permanentes en la zona. Asimismo, no se desarrollan actividades económicas en esta área. La presencia de regiones de impacto es un requisito para llevar a cabo actividades espaciales (Koroleva et al., 2018).

En relación a esto, Carlsen et al. (2007) alude que las actividades del Centro Espacial influyen negativamente miles de kilómetros cuadrados, incluyendo tanto las instalaciones de lanzamiento como las regiones de caída de las etapas. El Cosmódromo integra un área de 6.700 km<sup>2</sup>, y sumado a esto existe un área de 45.000 km<sup>2</sup> de Karaganda, Akmola, Pavlodar y Kazajstán del Este que se ven influenciados por 22 regiones de caídas de etapas de vehículos espaciales. En un principio, las trayectorias y los lugares de caída fueron seleccionados para incluir áreas no productivas, tales como estepas escasamente pobladas, áreas desérticas y semi-desérticas. Sin embargo, no se tuvo en cuenta la fragilidad de estos territorios. Así, además de pastizales, campos de heno y labranza, las regiones de impacto incluyen bosques, embalses, territorios naturales recreativos y protegidos, así como también, monumentos culturales. Sumado a esto, empresas industriales, estaciones eléctricas de poblados, vías de tren, ríos y canales, se encuentran en las proximidades de las regiones de impacto, consecuentemente siendo sujeto a potenciales caídas de fragmentos de naves espaciales (Carlsen et al., 2007).



Asimismo, concerniente también a las áreas de impacto, se resalta que la contaminación de los ecosistemas con fragmentos de las etapas separables es el principal problema ambiental de dichas zonas de colisión, como se ha mencionado anteriormente.

Adicionalmente, las observaciones de campo realizadas por Krechetov et al. (2011) mostraron que las áreas sujetas a degradación física durante todo el tiempo de uso que ha tenido el territorio no superan el 0,5% de las regiones de impacto de los desprendimientos de los vehículos espaciales, en las estimaciones más desfavorables.

Por otro lado, en relación a la transformación química, la investigación precitada de Koroleva et al. (2018) no detectó una alteración de este tipo en el suelo o en la nieve durante los 3 años de observación. Al mismo tiempo, no detectó niveles altos de toxicidad provocados por DA (Dimetilidrazina Asimétrica) en análisis un año posterior a la caída de los fragmentos. Este estudio destaca que el impacto químico que ocurre es sólo a corto plazo.

Lo que se puede interpretar hasta aquí de la información aportada por los estudios citados, es que aunque las extensiones de territorio que abarcan las zonas de impacto de los fragmentos de vehículos espaciales que caen a la superficie pueden alcanzar los 45.000 km<sup>2</sup>, las áreas realmente afectadas representan tan sólo el 0,5% del territorio total. Asimismo, se puede deducir que la mayor afectación sobre el ecosistema se debe a la propia colisión con el suelo por parte de los fragmentos que caen, más que a los residuos de combustible que son derramados sobre la superficie, ya que las transformaciones químicas derivadas de estos residuos son insignificantes (entre el 0,02 y el 0,1% de la cantidad inicial) luego de un año.

Por otra parte, resulta importante examinar la resistencia del ecosistema en donde se sitúa Baikonur. En relación a ello, el análisis realizado por Neronov et al. (2012) de la potencial resistencia del mapa vegetativo de la región a las actividades de vehículos espaciales ha mostrado que las especies con resistencia débil ocupan un 43,5 % del territorio del cosmódromo, aquellas que poseen una resistencia moderada conforman el 18,5 % mientras que la vegetación más resistente ocupa el 38 % del territorio. Dentro de las áreas industriales y de lanzamiento del Centro Espacial existe un 23% de vegetación con resistencia débil.

Asimismo, este estudio encontró que aproximadamente un tercio de los territorios industriales se encuentran en áreas transformadas por actividades antrópicas, en las cuales las especies de vegetación son relativamente resistentes (según las definiciones de estos autores) a las actividades de vehículos espaciales. Además, cerca de un 40% de las edificaciones industriales se encuentran en áreas ocupadas por especies con transformaciones antrópicas que poseen resistencia a la actividad espacial y de aeronaves (Neronov et al., 2012).

Por otro lado, en cuanto a la ciudad de Baikonur, ésta se encuentra localizada en una zona con daños antrópicos con especies de vegetación que son relativamente resistentes a las actividades espaciales y de aeronaves, según el mismo estudio de Neronov et al. (2012).

En relación a la fauna del ecosistema de análisis de este trabajo, el estudio realizado por Kolumbayeva et al. (2014) analizó el efecto de los componentes de los combustibles de vehículos espaciales en la inducción de la peroxidación de lípidos y aberraciones cromosómicas en roedores que habitan el área expuesta a contaminación del cosmódromo de Baikonur. Este estudio tomó dos especies que habitan la zona del ecosistema donde se ubica el cosmódromo y se les aplicó Dimetilidrazina Asimétrica para estudiar sus efectos sobre estos animales. Se encontró que en grandes dosis este residuo de combustible puede causar daños principalmente en el hígado y dañar el ADN



del animal. De esta manera, se confirma el potencial impacto en la salud al que está expuesta la fauna que habita la zona del cosmódromo, al poder entrar en contacto con sustancias nocivas como lo es la DA.

En cuanto a otro aspecto importante de la afectación ambiental, los autores Abdrazak & Musa (2015), estudiaron el impacto de la actividad del cosmódromo en los humanos. Estos autores aluden que incluso regularmente, el riesgo a la salud de la población en áreas de actividad de aeronaves espaciales existe desde el punto de partida de la ruta de los misiles balísticos y vehículos de carga y durante toda la trayectoria de vuelo, tanto en las áreas a distancias desde un punto inicial hasta 800 km en la segunda etapa de separación y hasta 2.500 km en la tercera etapa. Como consecuencia, se forman zonas de entre 1.500 a 5.000 km<sup>2</sup> de extensión cubiertas con fragmentos de misiles balísticos y vehículos espaciales de carga.

El estudio de Abdrazak & Musa (2015) también expone el importante daño que es realizado a la naturaleza causado por elementos de partes separables de aeronaves de carga y los restos de los componentes de combustibles no quemados. Asimismo, el trabajo menciona que un área de contaminación, dependiendo de las características meteorológicas y geográficas de una zona de colisiones de vehículos espaciales puede alcanzar algunas hectáreas, además los componentes del combustible de motores líquidos y sus agentes derivados de su transformación pueden migrar con las aguas naturales a distancias de varios cientos de kilómetros.

De acuerdo a lo expuesto por estos autores precitados en relación a la contaminación del aire, con un contenido de 0,01 mg/l de DA, en unos pocos minutos existe un serio envenenamiento. El límite de la máxima concentración en esta medición es de 0,0001 mg/l o 0,001 mg/m<sup>3</sup> del aire atmosférico.

En cuanto a los límites de concentración tolerables para los seres humanos, los autores aluden que la DA en un límite de concentración de 0,1 mg en contacto con el aire libre a lo largo de 2 años genera efectos adversos en el cuerpo humano. Por lo tanto el límite de máxima concentración debería establecerse en 0,00001 mg/l. Para niños y mujeres embarazadas el límite de concentración máxima de DA debe ser 0,000001 mg/l o 0,00001 m<sup>3</sup>. Sin embargo no existen datos concretos acerca de esta información aportada por los autores. No existe registro de que la DA haya causado cáncer en los humanos, aunque estudios realizados con humanos que mantuvieron una exposición crónica a la DA, sí confirmaron el hallazgo de afectaciones en el hígado en algunos de los casos estudiados, aunque en ningún caso se haya tratado de patologías graves (Haun et al., 1984). Lo que sí está claro es el potencial peligro, como posible causante de cáncer de este combustible para los seres vivos. Los estudios realizados que se citan en este escrito han comprobado que es cancerígeno para animales y que es potencialmente cancerígeno para los seres humanos. La DA, según el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) es clasificada como un combustible cancerígeno para los humanos.

Por otro lado, el trabajo de Abdrazak & Musa (2015), también expone que la DA posee una alta fluidez: habiéndose introducido en la tierra, se dirige hacia la humedad (en los suelos que se secan fácilmente llega hasta los 3 metros de profundidad), se disuelve en el agua y ante la caída de lluvia se eleva. Asimismo, según estos autores la DA es muy estable al lugar de su aparición. De acuerdo a este trabajo, los científicos rusos que investigaron esta sustancia la encontraron luego de 34 años en los mismos lugares. Las propiedades físicas y químicas específicas de la DA hacen que sea extremadamente difícil y en la práctica imposible, su neutralización y la descontaminación del área luego de su infección química. Es necesario considerar la poca bioproductividad de los ecosistemas desérticos y semidesérticos de las áreas de exposición a la contaminación,



una consecuencia de ello, es su baja capacidad de auto-restauración. Del mismo modo, para los ecosistemas que poseen un gran estrés climático como es el caso de estudio, es característico que posean una asimilación máxima de biogenes menor a otros ecosistemas con un estrés climático inferior (como el caso de un ecosistema ubicado en una zona tropical). Como consecuencia de ello se produce una acumulación biológica y un fortalecimiento en los derivados de la DA en las cadenas alimenticias.

Por otra parte, el estudio de Abdrazak & Musa (2015), igualmente manifiesta que la falta de diagnósticos de afectaciones en humanos por DA puede no corresponderse con los verdaderos hechos. Muchas personas que acuden a atención médica con problemas de salud no especificados que podrían ser atribuidos a la DA presentan síntomas muy similares a los causados por heridas por radiación (cáncer, leucosis, etc), por tal motivo, podrían existir diagnósticos erróneos frecuentemente. Los síntomas de una afectación por radiación ocurren tan expresamente que obliga a los doctores a hacer un diagnóstico de enfermedad por radiación. Sin embargo, la escasez de fuentes de radiación ionizante podría dar la posibilidad de excluir la radiación como el causante de los síntomas.

Adicionalmente, los autores además aluden que existen distintos niveles de riesgos de acuerdo a la edad de los individuos. Cuanto menor sea la edad más frecuentemente se encontrará esta patología (espasmos, daños en el hígado, problemas sanguíneos, etc). Las mujeres tienen un mayor riesgo de enfermedad de sangre, mientras que los recién nacidos son los que tienen el mayor riesgo.

Según los dichos de estos mismos autores, los niveles aceptables de toxicidad de la DA impulsaron a la Agencia Espacial de Rusia en 2006 a tomar la decisión de no ordenar más vehículos lanzadores de la clase Cyclone-3, Space3M y Roar. Asimismo, continúan con el proyecto del sistema de propulsión Angara, con dos lanzamientos exitosos hasta el momento, del Angara 1.2 y del Angara-5, que utiliza un tipo de combustible ecológico. Este sistema se perfila a reemplazar a otros sistemas de propulsión con combustibles más nocivos como el DA.

Por otra parte, continuando con lo expuesto por los autores Abdrazak & Musa (2015), las medidas tomadas hasta el momento en relación a la seguridad ambiental no han solucionado nada para Kazajstán y sólo tienen la finalidad de calmar la opinión pública rusa. Un ejemplo de ello, según los autores, es que la demanda para el uso comercial del Proton aún continúa estable debido a que el cliente, es decir aquella agencia o entidad que hace uso de este vehículo, en caso de accidente, sufre mínimas pérdidas las cuales son cubiertas por un seguro. Pero no existe un seguro para aquellas personas que viven directamente bajo las rutas de estos vehículos de 700 toneladas, de las cuales 649 son sustancias extremadamente venenosas y combustibles de una mezcla químicamente agresiva de 1,1 dimetilhidrazina (heptilo) con diazoniotetrafluoruro (amil). En un accidente ocurrido el 6 de septiembre de 2007, en el momento de la caída en el vehículo había 218 toneladas 978 kilogramos de mezcla. El fragmento más grande del vehículo cayó a 43 kilómetros al sudoeste de Zhezkazgan, un poblado de más de 200.000 habitantes. Si los motores se hubiesen apagado de 5 a 10 segundos más tarde la aeronave hubiese caído sobre la ciudad (Abdrazak & Musa, 2015). En este caso, se evidencia el peligro de las aeronaves y fragmentos derivados que caen a la Tierra.

De los estudios citados anteriormente, se deduce que existe un impacto ambiental derivado de la actividad espacial, el cual varía según la regularidad con que se llevan a cabo los vuelos espaciales, y la capacidad del ecosistema local de asimilar los efectos de dicha actividad. En el caso de Baikonur su carácter de región desértica lo hace más vulnerable a ser afectado y con un proceso más lento de asimilación de los desechos en comparación del resto de tipos de ecosistemas, los impactos se ven incrementados.



Por otro lado, parece haber un factor común de estudio por parte de los especialistas y es la Dimetilhidrazina Asimétrica (DA), compuesto al cual se lo conoce también como heptilo. Este es un compuesto que fue ampliamente utilizado en los combustibles de vehículos espaciales durante las primeras décadas de la era espacial, y que en altas dosis es altamente nocivo y cancerígeno (Kiselev et al., 2012). Sin embargo como refleja el estudio de Koroleva et al. (2018) la cantidades residuales encontradas de este elemento son mínimas al cabo de 1 año (entre el 0,02 y el 0,1% de la cantidad inicial), y sus efectos en el ecosistema suelen ser insignificantes, ya que en general nunca superan el umbral de los 200 mg, considerada la cantidad máxima antes de que se aniquile por completo la actividad biológica, y sólo se dan en el corto plazo (en los primeros días de exposición). La mirada de Abdrazak & Musa (2015) es más crítica, ya que se basa en la perspectiva local de la República de Kazajstán, sin embargo, en sus estudios no existen pruebas concretas de que la DA haya tenido un impacto considerable en humanos, sólo existen pruebas de algunas afectaciones encontradas en el hígado de trabajadores expuestos a DA, pero los cuales solían representar menos del 4% del total de trabajadores, como se detalla más adelante.

En relación a esto, Kiselev et al. (2012) resalta que existen distintas opiniones, las cuales incluyen los dichos de la población local y las autoridades quienes buscan tener todo tipo de compensaciones y suelen estar respaldados por medios sensacionalistas. Estos autores aluden que generalmente las reacciones de los locales suelen ser subjetivas y cargadas de emociones. Por otro lado, según estos autores, existen las estimaciones de los expertos quienes se encargan de lidiar con el diseño y operación de la tecnología espacial.

Por lo tanto, se pueden encontrar dos miradas opuestas bien marcadas en relación al impacto ambiental de las actividades de vehículos espaciales en Baikonur. Por un lado, aquellos estudios que presentan una carga emocional y subjetiva por provenir de entidades locales de Kazajstán en donde su perspectiva se centra en erradicar todas las actividades de este cosmódromo y desplegar las actividades de aeronaves rusas fuera del país. Por otro lado, las entidades rusas quienes afirman que el impacto es mínimo y que las opiniones de los locales no se corresponden con la realidad.

Desde una observación tendiente a la imparcialidad, existe un impacto ambiental, y una alteración en los ecosistemas locales. Las fuentes recopiladas demuestran que el impacto más severo se da con la caída de fragmentos que pueden abarcar hasta 45.000 km<sup>2</sup> y representan un peligro potencial para las poblaciones que habitan en las proximidades de las zonas de impacto. En cuanto a la flora y fauna, representan más una alteración y disturbio en el desenvolvimiento natural de los ecosistemas aunque no presenten afectaciones severas, ya que las cantidades residuales no alcanzan los niveles letales (200 mg), a excepción de unos pocos casos como debajo de las plataformas de despegue y en caso de derrames de los tanques de combustibles.

Es preciso mencionar que la DA ya no es utilizada con tanta regularidad, y por el contrario los combustibles actuales no presentan el carácter nocivo que caracteriza a la Dimetilhidrazina Asimétrica, y como se hace mención en este trabajo, los combustibles que involucran las aeronaves del Turismo Espacial utilizan carburantes más amigables con el ambiente como se comenta en cifras detalladas más adelante.

En un apartado siguiente se habla más en profundidad acerca de la Dimetilhidrazina Asimétrica.

### **Principales Agentes Contaminantes detectados**



Para continuar con el desarrollo de este trabajo es preciso seleccionar los agentes contaminantes más destacados que surgen como consecuencia de la investigación y la bibliografía consultada y aportar una explicación más profunda para que el lector pueda alcanzar un mejor entendimiento de los principales contaminantes derivados de la actividad de vehículos espaciales.

Para la selección de las variables prioritarias se procedió a seleccionar aquellas fuentes de contaminación que a partir de la investigación realizada se detectaron como las más nocivas. Como se mencionó al inicio de este capítulo, existen cuatro tipos de agentes contaminantes principales derivados de la actividad de vehículos espaciales. Estos son: contaminantes gaseosos, contaminantes acústicos, contaminantes sólidos y contaminantes líquidos. Ya que las nuevas tecnologías en materia de aeronaves espaciales se enfocan en el uso de vehículos lanzadores reutilizables, la problemática de la caída de fragmentos y etapas de vehículos que se lanzan al espacio se vería reducida prácticamente en su totalidad en los próximos años, a medida que esta tecnología se utilice por parte de todas las agencias alrededor del mundo. En materia de contaminación acústica, este trabajo tan sólo se limitará a la mención que se ha hecho en el comienzo de este capítulo, dejando este tipo de contaminación para futuros trabajos. Con respecto a las restantes fuentes de contaminación, se destacan dos agentes contaminantes en particular:

- Por un lado, la Dimetilhidrazina Asimétrica, la cual ha sido nombrada en reiteradas ocasiones a lo largo de este trabajo, y probablemente el lector ya haya podido percatarse de los potenciales peligros que este componente de combustible puede representar para el ambiente.
- Por otro lado, un tipo de gas muy presente en las investigaciones acerca de la contaminación derivada del Turismo, y en particular del Turismo Espacial que es el Dióxido de Carbono.

Estos dos componentes resultan ser tanto por su nivel de peligrosidad, como por su presencia en cantidades emitidas, los dos más destacados con respecto a otros contaminantes de acuerdo a la bibliografía consultada.

Por estas razones citadas en los párrafos anteriores, se seleccionaron estos dos agentes contaminantes como los principales, por lo que se les dedicará un apartado a cada uno explicando en forma genérica, los efectos que pueden tener sobre el medio antrópico y natural adyacente a un Centro Espacial en actividad.

### **Caso particular 1: Como combustible y/o producto de combustión: Dimetilhidrazina Asimétrica**

En este apartado se procede a explicar de manera más amplia acerca del contaminante Dimetilhidrazina Asimétrica (DA).

Este derivado de la hidracina, abreviado como DA (UDMH en inglés), se usa a menudo en lugar de o en mezclas con hidracina debido a que forma un líquido térmicamente más estable. Asimismo, tiene un punto de congelación más bajo (-57,25 grados Celsius), así como también, un punto de ebullición menor (62,35 grados Celsius) que la hidracina. Cuando se quema DA con un oxidante, sólo se obtienen valores ligeramente más bajos de los que se obtienen con hidracina pura. La DA se utiliza cuando se mezcla con 30% a 50% de hidracina o con 25% de hidrato de hidracina. Este combustible se utiliza en muchos propulsores pequeños de Rusia y China y en algunos motores de vehículos



principales. La Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH por sus siglas en inglés) recomienda un límite de exposición del personal al vapor de este compuesto, de ocho horas a una cantidad de 0,01 mg. Se sabe que la DA es cancerígena en animales, como se ha mencionado en este trabajo (Sutton & Biblarz, 2016).

Este componente químico es un líquido incoloro, higroscópico (que absorbe la humedad) con un olor similar al amoníaco. A su vez, es uno de los combustibles más eficientes pero igualmente tóxicos, desarrollado en la década de los 50 del siglo XX en los Estados Unidos. La Dimetilhidrazina Asimétrica, de fórmula química  $C_2H_8N_2$ , constituye un derivado de la hidracina, el cual es un componente del nitrógeno e hidrógeno. En la Unión Soviética este combustible era conocido como heptilo, mientras que en los Estados Unidos era llamado dimazina. Los derivados de la hidracina resultan del reemplazo de uno o varios átomos de hidrógeno en hidracina a través de radicales de hidrocarburos. Dependiendo del número de átomos de hidrógeno reemplazados existen mono, di, tri y tetra derivados. La Dimetilhidrazina Asimétrica fue ampliamente utilizada en tecnología de misiles ya que los lanzadores y los vehículos espaciales podían ser rellenos con este combustible y guardados por un largo tiempo (Kiselev et al, 2012).

Debido a su potencia y sus características operacionales la DA fue muy utilizada en misiles, lo que contribuyó a la contaminación ambiental (Kiselev et al, 2012).

Además de sus características de alta toxicidad, la DA también es peligrosa al descomponerse a temperaturas por sobre los 3.500 grados Celsius, emitiendo calor y gases inflamables. Este componente alcanza la explosión si es sobrecalentado en un espacio cerrado (en órbita) o si el vehículo golpea el suelo (Kiselev et al, 2012).

Este combustible fue utilizado por los Estados Unidos en las segundas etapas de los vehículos Thor-Delta, Thor-Able, Thor-AbleStar, y Atlas-Agena, lanzadores que fueron ampliamente utilizados en los 60 del siglo XX. Mientras que la Unión Soviética lo utilizó en la aeronave Kosmos. Los primeros vuelos fueron realizados en los 60 con el lanzador Proton de Chelomei, en misiles balísticos intercontinentales y otros misiles de defensa aérea (Kiselev et al, 2012).

Generalmente, la DA es utilizada junto con oxidantes tóxicos, como sustancias de ácido nítrico. Asimismo, también es utilizado con oxígeno líquido como un componente de combustible de aeronaves estadounidenses (Kiselev et al, 2012).

De acuerdo a lo expuesto por Kiselev et al. (2012) existen cinco consideraciones principales en cuanto a la afectación ambiental la DA (Dimetilhidrazina Asimétrica).

- En primer lugar, es muy tóxico, es seis veces más tóxico que el ácido cianhídrico (cianuro disuelto en agua) y corresponde a un nivel de peligro de primera clase, siendo el componente químico más nocivo entre las sustancias venenosas no tradicionales.
- En segundo lugar, la DA puede introducirse en el cuerpo humano por el tracto respiratorio, por la piel, por el tubo respiratorio y por la membrana mucosa lo cual la hace especialmente peligrosa.
- En tercer lugar, la DA es altamente volátil, se disuelve completamente en agua, preserva su composición en el suelo y en organismos vivos. Además, si se desintegra, produce agentes tóxicos incluso más nocivos.



- En cuarto lugar, el impacto de la DA en organismos vivos fue insuficientemente estudiado por lo que es difícil tratarla. No existen métodos para detectarla en pequeñas concentraciones, y no hay formas de descontaminarla.
- En quinto lugar, la DA ha afectado a una considerable cantidad de extensiones de territorio y agua alrededor de todo el mundo.

Cabe considerar que la DA y sus metabolitos fueron encontrados en plantas, en el suelo, en sedimentos del fondo y en la superficie del agua. Existe la posibilidad de que este componente pueda alojarse en vegetales, en la carne o en el pescado. Los componentes de la DA podrían introducirse en el cuerpo humano a través de alimentos y por medio de la ingesta de agua, y como ya se ha comentado, puede causar graves enfermedades tanto en la sangre, enfermedades cardiovasculares, ataques de hemorragia, cáncer y cirrosis hepática (Kiselev et al, 2012).

### **Efectos sobre el ambiente**

En cuanto a la afectación de la DA sobre la flora y la fauna, la DA, puede alcanzar la superficie del suelo durante las etapas de producción, transporte, carga de combustible de lanzadores y de vehículos espaciales previo al lanzamiento. También, puede llegar al suelo como residuo en los tanques de etapas separadas, así como también durante accidentes y catástrofes. La mayor parte de la contaminación de la DA sobre la superficie terrestre deriva de tanques de combustible que se caen (Kiselev et al, 2012).

De acuerdo con lo expuesto por Kiselev et al. (2012), expertos ecológicos han realizado algunas estimaciones acerca de la cantidad de DA que regresa al suelo en las etapas que se desploman. La producción de DA en Rusia a mediados de los 90 estaba estimada en unas 200 a 300 miles de toneladas. Para estimar la producción mundial, los ecologistas usan el índice 2,5 (1,0 para Rusia, 1,0 para los Estados Unidos y 0,5 para el resto del mundo). De este modo, los expertos han estimado la generación de DA entre 500 y 750 mil toneladas en el mismo período. Si el 2 o 3% de las reservas de seguridad no son quemadas, entonces la cantidad de DA que cae sobre el suelo fue de entre 10 y 20 mil toneladas (Kiselev et al, 2012).

En Koroleva et al. (2018) se estudió el efecto de este carburante sobre los suelos. El estudio encontró que en bajas dosis de contaminación de DA la biota responde positivamente a la presencia de este componente: la intensidad de la respiración del suelo se incrementa. Las comunidades microbianas del suelo funcionan sostenidamente en dosis de 20 mg/kg de DA. Cuando las concentraciones de DA son mayores a 200 mg/kg durante dos semanas de incubación, su actividad es completamente suprimida (Koroleva et al., 2018).

El comportamiento de la DA en los suelos depende tanto de las propiedades del mismo como del agente y la concentración de este contaminante, así como también, de la composición mineralógica presente en la superficie (Koroleva et al., 2018). Luego de un derrame de DA, esta se evapora de la superficie del suelo. En las superficies húmedas la concentración del agente contaminante en el momento inicial es más elevada que en aquellas que son secas. Sin embargo, subsecuentemente las diferencias se equiparan y luego de 90 días de observación la concentración no excede el 0,5% de la cantidad inicial, más allá de los niveles de humedad (Koroleva et al., 2018). Si la carga de DA es de 4 kg/m<sup>2</sup>, de 2 al 4% de la cantidad introducida queda en los tipos de suelos Luvisoles,



Kastanozems y Regosoles, luego de un día de comenzado el experimento. Después de un año, los restos de la sustancia representaban entre el 0,02 y 0,1 % (Koroleva et al., 2018).

Los suelos de arcilla absorben entre un 70 y un 90% de la DA, los suelos arenosos entre el 2 y el 46%. El nivel de desorción de la DA depende de la composición granulométrica. Asimismo, entre un 70 y un 85% del agente contaminante es lavado con la primer porción de agua, luego la intensidad de la remoción decrece (Koroleva et al., 2018). La evidencia empírica demuestra que la mayor parte de la DA que se queda alojada en los suelos se transforma en los primeros días. La oxidación de la DA involucra una serie de reacciones, en donde se han identificado por lo menos 12 sustancias principales: Dimetilamina, formaldehído dimetilhidrazon, metilhidrazina, trimetilhidrazin, N-nitrosodimetilamina (NDMA) 1-metil-1,2,4-triazol, ácido fórmico dimetilhidrazida, 1.5.5-trimetilborazina, 1-metil-1-6-dihidro-1,2,4,5-tetrazina, N-dimetilaminopiridina, entre otros, (Koroleva et al., 2018). La evidencia empírica del estudio realizado por Smolenkov et al. (2013) citado en Koroleva et al. (2018) encontró que la mayoría de los agentes resultantes, con la excepción de la NDMA, tienen un nivel de toxicidad significativamente inferior a la DA.

En relación a la afectación sobre fauna que habita los suelos, de acuerdo al estudio realizado por Zaitsev et al. (2011) en donde se estudia la afectación de la fauna de suelo a través de la aplicación de la DA, el análisis de la abundancia taxonómica de la composición de la fauna en las parcelas examinadas reveló un complejo típico de invertebrados habitando el suelo. La aplicación de DA alteró sustancialmente la abundancia de varios grupos de meso y macrofauna. La abundancia de enquistados y gusanos que están menos protegidos a la desecación y la penetración de contaminantes a través de la cutícula decrece luego de la aplicación de una baja dosis de DA. Los niveles más bajos de sobrevivencia de los enquistados luego de 10 días de la aplicación del tóxico puede ser causado por los productos derivados de la DA. Sin embargo, incluso bajo un alto nivel de contaminación de DA los enquistados son capaces de sobrevivir y recolonizar las áreas contaminadas.

Luego de la aplicación de la DA, se genera una transformación general de la cadena alimentaria detrítica. En particular, ocurre un incremento en el rol de los animales del suelo que habitan la superficie y las formas móviles de vida. Se observó un incremento considerable en la proporción de depredadores en la meso y macrofauna. Los depredadores demuestran un grado de supervivencia mayor y una mejor habilidad para colonizar las áreas contaminadas debido a que poseen mecanismos más eficientes para la excreción de los tóxicos y un tamaño mayor en su área de hábitat en comparación con los detritívoros (Zoitsev et al., 2011).

Con la presencia de un nivel bajo de contaminación se ha observado un decrecimiento significativo en la riqueza de especies y en la degradación de la estructura faunística de las comunidades de ácaros oribátidos (Zoitsev et al., 2011).

Considerando la movilidad, la permeabilidad y la excreción de tóxicos se puede concluir que diferentes componentes de la cadena alimentaria detrítica tiene distintos niveles de resistencia a la contaminación por DA (Zoitsev et al., 2011).

Con respecto a los efectos de la Dimetilhidrazina Asimétrica en humanos los estudios realizados no abundan, y no aportan información precisa acerca de los efectos de este tipo de combustible, incluyendo sus efectos cancerígenos.

Un estudio realizado por Shook y Cowart (1957) analizó la exposición intermitente de 5 trabajadores de laboratorio durante un período de 6 meses. Durante los primeros 3 meses las personas trabajaron 10 horas por día, 6 días a la semana. Posteriormente,



desempeñaron labores interrumpidamente (6 a 8 veces) por no más de 4 horas a la semana durante 3 meses. Asimismo, 6 hombres se encargaron del traslado de 55 galones de DA a los tanques de almacenamiento. Estos 6 individuos tuvieron una exposición a la DA de 3 a 4 días, durante un período de 6 meses. Un derrame accidental sucedió durante el tiempo de estudio. Durante o posterior a realizado el estudio, 6 del total de 11 trabajadores dieron positivo en estudios de afectaciones del hígado, aunque no se encontraron otros signos de intoxicación (Haun et al., 1984).

En otro estudio realizado por Petersen et al. (1970) se encontraron aparentes signos de daño en el hígado de los trabajadores de la Fuerza Aérea Danesa, quienes trabajaron con combustibles líquidos de vehículos, incluyendo la DA, aunque se desconocen las concentraciones. En este estudio se realizaron verificaciones de 3 a 4 veces durante un período de 3 años. Los indicadores de daños en el hígado fueron elevados en 47 de 1.193 personas examinadas. Las biopsias de hígado realizadas a 26 voluntarios revelaron formaciones de degeneraciones grasosas en 10 casos. No se hallaron otros signos de daño en el hígado, y no fue posible confirmar que estos efectos fueron causados exclusivamente por la exposición a la DA (Haun et al., 1984).

Si se toma información más actual, el panorama no varía en lo absoluto. Sin embargo cabría revisar qué dicen los órganos oficiales acerca de los peligros de este componente de combustible. De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (EPA por sus siglas en inglés) la inhalación por cortos períodos de este componente en humanos genera irritación en la nariz y garganta, leve conjuntivitis, náuseas y vómitos. Asimismo, es altamente corrosivo e irritante para la piel, ojos y las membranas mucosas. Daños en el hígado pueden ocurrir ante una exposición crónica a 1,1 dimetilidrazina. Efectos cancerígenos han sido observados en animales expuestos a este compuesto por inhalación y oralmente, predominantemente en los pulmones y el hígado. Según este órgano no está confirmado que este componente sea cancerígeno en humanos. Sin embargo, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC por sus siglas en inglés) ha clasificado a la 1,1 dimetilidrazina como Grupo B: el químico posiblemente sea cancerígeno para humanos (EPA, 2016).

En base a lo expuesto en este apartado, más allá de que las cantidades remanentes de este componente en los suelos son insignificantes en el corto plazo (de 2 a 4% luego de un día o de alrededor de 0,5% luego de 90 días), sí existe un efecto sobre la fauna como se puede observar en el estudio citado de Zoitsev et al. (2011), en donde los organismos menos resistentes se ven afectados por esta sustancia. En cuanto a la afectación sobre los seres humanos, aunque no existan pruebas de que haya producido cáncer o enfermedades terminales, sí se ha encontrado que la exposición prolongada a este componente produce afectaciones en el organismo, especialmente en el hígado. Por estas razones, es evidente que el uso de este tipo de combustible debería ser reemplazado por otros propelentes menos tóxicos (no cancerígenos ni perjudiciales para la vida animal) y más ecológicos (baja producción de gases de efecto invernadero). Afortunadamente, ninguna de las empresas relacionadas con los viajes de Turismo Espacial utiliza este combustible.

Este componente no es el único que al ser inhalado en grandes cantidades puede producir daños en el organismo en seres vivos. Como se ha mencionado anteriormente en este escrito, el dióxido de carbono también puede ser nocivo si se lo inhala en grandes concentraciones, así como también, produce efectos de gas de invernadero afectando la circulación de calor en la atmósfera terrestre. De este tipo de gas se habla en el siguiente apartado.



## **Caso particular 2: Emisiones de CO<sub>2</sub>**

Tal como se ha comentado con anterioridad, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es otro de los derivados principales de la combustión de carburantes de vehículos espaciales emitidos en grandes cantidades. Este gas se dispersa mucho más lentamente que el hidrógeno debido a que sus moléculas son más grandes y más pesadas. Por este motivo, la concentración excesiva de dióxido de carbono es registrada principalmente cerca de la trayectoria de un vehículo lanzador (Kiselev et al, 2012).

### **Efectos sobre el ambiente**

El dióxido de carbono juega un rol extremadamente importante en el balance térmico de la termósfera, establecido a partir del calentamiento de radiación ultravioleta y el enfriamiento por radiación infrarroja, una parte considerable que depende de las moléculas de dióxido de carbono (Kiselev et al, 2012).

El CO<sub>2</sub> excesivo generado por las actividades humanas puede causar pérdida de calor de la termósfera hasta en un 10 %. Asimismo, distintos cambios acontecen en toda la estructura térmica vertical de la atmósfera, incluyendo la exósfera. Los cambios de temperatura están acompañados por cambios en la densidad y en la composición química (Kiselev et al, 2012).

Los gases de combustión a alturas elevadas son el principal problema de las emisiones de la aviación en general. En el caso del ruido, una vez que la aeronave se aleja del sitio este desaparece, sin embargo en el caso de las emisiones de gases como el CO<sub>2</sub> este deja un rastro permanente en el aire. Se estima que el dióxido de carbono permanece en la atmósfera por hasta 100 años, aunque la ciencia todavía no ha alcanzado un total entendimiento del ciclo de este gas. Lo que sí se sabe con certeza es que el CO<sub>2</sub> tiene un efecto invernadero (Filippone, 2008).

En comparación, los efectos del CO<sub>2</sub> son menores a otros gases como el metano (CH<sub>4</sub>) y demás gases cuando se lo compara por unidad de peso. Sin embargo, en la actualidad, el dióxido de carbono es considerado el gas de efecto invernadero más peligroso, debido al uso intensivo de combustibles fósiles que existe actualmente. Una muestra de la consideración que tiene este tipo de gas en torno al cambio climático y el cuidado del ambiente es que son las únicas emisiones reguladas por el Protocolo de Kyoto (Filippone, 2008).

Dicho esto, es necesario tener en consideración las emisiones producidas por un vehículo espacial al momento de analizar su impacto ambiental. Las emanaciones de CO<sub>2</sub> producidas por la combustión, suelen ser uno de los principales aspectos a tener en cuenta al momento de elegir un determinado propelente menos contaminante. Como se verá en un apartado siguiente en este trabajo, las emisiones de Dióxido de Carbono por parte de las aeronaves de Turismo Espacial, no son elevadas, y en el caso de la empresa Blue Origin, las secreciones de este tipo de gas son nulas debido al tipo de combustible ecológico que utiliza.



## **Integración – Turismo espacial**

Una vez realizado todo el análisis acerca de los principales contaminantes derivados de las actividades de los Centros Espaciales y los lanzamientos de aeronaves, se puede tener una noción de cómo las actividades del Turismo Espacial podrían afectar el ecosistema circundante a los sitios en donde se lleven a cabo dichas actividades.

Se tomó en consideración aquellos casos más extremos, es decir un Centro Espacial con mucha actividad, inmerso en un ecosistema particularmente frágil con procesos más lentos de absorción y auto-restauración, y considerando el combustible más nocivo y las situaciones más extremas durante la operación de los vehículos espaciales.

Como ya se ha comentado en este escrito, las prácticas de las empresas que se perfilan como los principales oferentes de Turismo Espacial pueden considerarse más sostenibles en comparación, por lo que sus impactos serían mucho menores en relación a otros vehículos como el Space Shuttle en términos de ahorro de energía, el Proton en términos de afectación de la salud de seres vivos y al Soyuz en términos de emisión de CO<sub>2</sub>, como se ve detalladamente en este apartado. Incluso en el capítulo anterior, se mencionó el caso de la empresa Blue Origin, la cual utilizará una plataforma reciclada que contribuye enormemente a reducir el impacto ambiental, posee vehículos con tecnología reutilizable, por lo que la caída de fragmentos a la tierra se vería solucionada, y al mismo tiempo, no emite gases de efecto invernadero como Metano o Dióxido de Carbono a la atmósfera, produciendo únicamente vapor de agua. En este caso de Blue Origin, se ve como los principales problemas ambientales que se vienen analizando en este escrito ya poseen una solución que incluso ya está puesta en práctica por empresas de Turismo Espacial.

Cabe entonces adentrarse en la posibilidad de pensar las prácticas turísticas relacionadas al espacio exterior de una manera sostenible.

En un principio, el turismo espacial formaba parte de un ambiente donde sólo los gobiernos y las actividades militares tenían lugar y del cual surgen dificultades legales que deberán ser resueltas rápidamente o abordadas de manera voluntaria (Toivonen, 2017). Estas dificultades incluyen el manejo de los residuos espaciales, el acceso equitativo y el uso de la Órbita Geoestacionaria que comúnmente es utilizada para los satélites comerciales, lo que requerirá que exista una regulación en los flujos de objetos espaciales que transitarán el espacio exterior próximo a la Tierra (Sharma, 2011) (Toivonen, 2017).

Siguiendo los dichos de Salonen (2010), las políticas ambientales y las decisiones son fundamentales para evaluar el impacto ambiental, social y cultural. A partir de esto, Toivonen (2017) menciona que la legislación y la planificación están en su punto inicial en el Turismo Espacial, por lo que representa una oportunidad inmejorable para que el desarrollo de este sector sea siguiendo criterios de sostenibilidad.

En relación a la legislación, en el Turismo Espacial ya existen medidas voluntarias implementadas como por ejemplo en relación a la seguridad operacional. Asimismo, acuerdos internacionales, como lo es el tratado de París (2016) en relación al cambio climático. Sin embargo, desde la visión de Toivonen (2017) hace falta un marco normativo que abarque asuntos fundamentales como lo es la definición del espacio exterior y la delimitación de la zona para las actividades espaciales y las de aviación, las cuales se rigen por distintos dictámenes legales pero no por un régimen globalmente consensuado.



En lo que respecta a la planificación, de acuerdo a los dichos de Toivonen (2017) siguiendo lo expuesto por Hall (2007) dentro de la planificación turística existen cinco áreas de foco: promoción del destino, enfoque económico, enfoque en la comunidad, enfoque físico/espacial y enfoque sostenible. Para Toivonen, el turismo espacial sostenible se relaciona principalmente con el enfoque físico/espacial y el enfoque sostenible. El primero se relaciona con la ubicación de las prácticas turísticas en un área determinada mientras que el segundo hace alusión a la provisión de recursos a una tasa menor a su capacidad de regeneración reduciendo el deterioro ambiental. Según el autor, el enfoque sostenible ofrece una perspectiva para que el desarrollo de la industria se genere en armonía con el ambiente desde el comienzo. Asimismo, el enfoque físico/espacial permite llevar a cabo una planificación correcta en el área de desarrollo de la actividad como lo son los centros espaciales.

Resulta entonces fundamental establecer las directrices para el desarrollo de las actividades para lograr mantener la integridad del ambiente en el largo plazo (Toivonen, 2017). Para esto, siguiendo lo expuesto por Becken (2015) las evaluaciones ambientales deben realizarse siempre antes de cualquier tipo de desarrollo turístico o de la implementación de un proyecto. De esta forma, para obtener resultados satisfactorios se debe tener en consideración tanto los recursos naturales como a la población local dentro de la planificación turística (Toivonen, 2017). La ausencia de un planeamiento o la presencia de una mirada cortoplacista puede desencadenar resultados catastróficos (Toivonen, 2017).

Dentro de la planificación del desarrollo de la actividad turística varios autores como Butler (1980), Porto (1999), Díaz (2013) y Toivonen (2017), coinciden en las distintas etapas que atraviesa un destino turístico hasta estabilizarse, caer en la declinación o alcanzar el rejuvenecimiento de la atracción turística manteniéndose en el mercado. A partir de lo expuesto por Butler (1980) el ciclo de vida de un área turística llega a su punto de inflexión cuando o se rejuvenece y se mantiene en el mercado o decae. Los estadios iniciales incluyen:

- Exploración: donde se descubre el destino, en términos de afluencia turística con el arribo de los primeros turistas en busca de destinos exóticos.
- Implicación: donde los distintos actores se ven involucrados en el sector.
- Desarrollo de la actividad turística.
- Consolidación del destino.
- Ralentización de la actividad turística o estancamiento.
- Por último se encuentra la etapa clave que es la de rejuvenecimiento o declive del destino o actividad turística (Díaz, 2013) (Toivonen, 2017).

Este modelo aplicado al Turismo espacial presenta algunas diferencias teniendo en cuenta las particularidades de esta tipología de viajes. Según Toivonen (2017) el éxito del Turismo Espacial no se verá reflejado en este modelo, debido a que existen ciertas limitaciones en relación a vivir y llegar al destino en cuestión. En este caso, según el autor, el éxito estará dado por un clima favorable en términos políticos y económicos que dé lugar a las inversiones necesarias para el desarrollo de nuevas tecnologías que provean acceso al espacio y las condiciones adecuadas, más que por el propio interés en el destino.

Por otra parte, cabe destacar que el seguimiento de los cursos de acción de desarrollo turístico en los destinos regionales tradicionales no encaja con la realidad del Turismo



Espacial, debido a las particularidades que lo diferencian de las modalidades turísticas llevadas a cabo en la Tierra. Sin embargo, los ejemplos de algunas de las acciones implementadas en destinos localizados en áreas ambientalmente frágiles podrían brindar un acercamiento a los cursos de acción a tomar para la planificación del Turismo Espacial (Toivonen, 2017).

Dentro de una tipología cercana al Turismo Espacial, existen ejemplos de modos operativos sostenibles, como es el caso de la aviación donde existen flotas que hacen uso más eficiente de energía, así como también, compensaciones voluntarias de emisión de carbono pagados tanto por la industria como por el cliente (Broderick, 2009) (Toivonen, 2017).

Actualmente, ya se están estudiando y desarrollando combustibles alternativos para vehículos espaciales que son más amigables con el ambiente, como es el caso del combustible a base de goma. Esto puede contribuir en la reducción de las emisiones causadas por la industria (Carter et al., 2015) (Toivonen, 2017).

Es necesaria una integración de la investigación en transporte y la ingeniería para desarrollar tecnologías a partir de energías renovables y libre de combustibles fósiles (Becken, 2015) (Toivonen, 2017). Los futuros vehículos espaciales podrían operar a base de combustibles renovables o energía solar (Toivonen, 2017).

Por otro lado, Toivonen (2017) expone el concepto de señales débiles, a través de lo expuesto por Smyre & Richardson (2015) Uskali (2005) y Coffman (1997) las cuales las define como ideas innovadoras, descubrimientos, con carácter visionario y de sorpresa, las cuales no son una realidad en el momento, pero lo serán en el futuro próximo, aproximadamente 5 años. El autor expone una clasificación de dicho concepto a partir de los dichos de Uskali (2005), en donde las señales débiles se dividen en una etapa de sentimiento, de incertidumbre, de casi certeza y de exactitud. Toivonen (2017) menciona que el Turismo Espacial ha superado las etapas de sentimiento e incertidumbre y se aproxima a la etapa de casi certeza. El autor argumenta que las dificultades técnicas en el desarrollo de la tecnología se han visto superadas, y que la mayor parte de la infraestructura necesaria para este tipo de turismo ya está disponible, por lo tanto, se aproxima a la tercera etapa mencionada. De este modo, el concepto de las señales débiles sugiere que se deben introducir prácticas sostenibles para asegurar que esta tipología turística se desarrolle en compatibilidad con el ambiente desde el comienzo.

Se puede deducir que los dichos de Toivonen (2017) se aproximan mucho a la realidad. Las empresas que operan vehículos espaciales están obligadas a presentar Estudios de Impacto Ambiental de sus aeronaves, al menos en lo que respecta a las entidades estadounidenses. Asimismo todo Centro Espacial a construirse para obtener un permiso debe pasar por una Evaluación de Impacto Ambiental que asegure que se tomarán las medidas de seguridad y de protección necesarias para que se desarrollen las actividades con el menor impacto y de la manera más sostenible posible (Seedhouse, 2014). De esta forma, los primeros pasos del Turismo Espacial parecen involucrar enteramente la sostenibilidad, como se ha mencionado con los casos de los principales oferentes de viajes turísticos espaciales. Por lo tanto, si las políticas implementadas en materia turística, y la legislación acompañan, esta modalidad de viajes podría desarrollarse con prácticas sostenibles.

### **Variación de los tipos de contaminación mencionados con la inserción del Turismo Espacial en las actividades espaciales comerciales**



A pesar de que el último párrafo del apartado anterior expone una mirada optimista del desarrollo del Turismo Espacial, resulta necesario analizar de manera cuantitativa con los datos obtenidos de los estudios recopilados, acerca de los incrementos de los agentes contaminantes que podría producir el Turismo Espacial de llevarse a cabo con regularidad (1.000 vuelos anuales).

Primeramente, antes de adentrarse en la contaminación que agregaría el Turismo Espacial cabe observar brevemente cómo influye el turismo en general a la contaminación global. El estudio de Lenzen et al. (2018) analizó los aportes en carbono que derivarán de las actividades turísticas alrededor del mundo.

El impacto de carbono del turismo global está determinado principalmente por dos factores: La demanda y la intensidad en carbono de los bienes y servicios turísticos. En el caso del turismo un incremento anual del 7% o del 30% en un lapso de 5 años del gasto relacionado al turismo en el período 2009-2013 ha cancelado todas las reducciones en intensidad de carbono, (-2,7 % / -12,9%) y ha causado que la huella de carbono del turismo global se haya incrementado en un 3,3 % anual o 14% en el período mencionado. La mita del 540 megatonnes del crecimiento de la huella de carbono ocurrió en países de altos ingresos, sin embargo países de ingresos medios, principalmente China, registraron el crecimiento más elevado (17,4% por año) (Lenzen et al., 2018).

Este estudio encontró que bajo supuestos muy optimistas (2% del PBI per cápita y 4% declive en el impacto del carbono llevado a cabo por las tecnologías) el impacto de carbono provocado por el turismo global puede estar limitado a 5 gigatonnes. Por el contrario, si las tendencias económicas se mantienen (4,2% aumento del PBI per cápita y 2,7% de declive en la intensidad del carbono), probablemente continúe el patrón del aumento del 3% anual lo que llevaría a que la emisiones relacionadas al turismo alcancen los 6,5 gigatonnes (Lenzen et al., 2018).

Alrededor del 72% del impacto total o 3,6 gigatonnes es en la forma de CO<sub>2</sub>, proveniente en su mayoría de la combustión de carburantes y los cambios en el uso de la tierra, siendo la mayoría del restante CH<sub>4</sub> emitido por el ganado (fermentación entérica y la gestión del estiércol) y durante la extracción de gas y petróleo (Lenzen et al., 2018).

En cuanto a los principales países emisores, los Estados Unidos lidera el ranking de emisiones de carbono negro tanto desde las perspectivas de conteo basadas en el destino (DBA por sus siglas en inglés) 1.060 megatonnes y basada en los residentes (RBA por sus siglas en inglés) 909 megatonnes seguido por China (528/561 megatonnes), Alemania (305/329 megatonnes) e India (268/240 megatonnes). La mayoría de estos rastros de carbono provienen de viajes domésticos. En términos per cápita las islas son las que presentan los mayores niveles, en gran parte por los visitantes internacionales (Lenzen et al., 2018).

Adicionalmente, los viajes son altamente elásticos en relación a los niveles de ingresos y suelen ser muy intensivos en cuanto a emisiones de carbono. Al tiempo que el desarrollo de la economía global avanza, especialmente en los países de altos ingresos y las regiones que están experimentando crecimientos económicos rápidos, la demanda de viajes por parte de los consumidores ha crecido a un ritmo mucho más veloz que el consumo de otros productos y servicios. Debido al deseo de buscar nuevas experiencias exóticas y el incremento en la confianza en la aviación e instalaciones lujosas, la gran afluencia de participantes en esta industria ha hecho que el nivel de consumo ponga al turismo en una categoría de gran intensidad de carbono. La demanda global por el turismo ha excedido la decarbonización de las operaciones en turismo, como resultado, ha acelerado las emisiones de carbono. Al mismo tiempo, al menos 15% de las emisiones del turismo global no están actualmente en foco de ser reducidas ya que las



emisiones de la aviación internacional y los barcos están excluidas del Acuerdo de París. Sumado a esto, los Estados Unidos, país con los mayores niveles de emisiones no apoya dicho acuerdo en la fecha de realización de este escrito (Lenzen et al., 2018).

Existe una percepción general de que el turismo es una opción de consumo de bajo impacto. Esta creencia ha llevado a que algunos países desarrollen rápidamente proyectos turísticos de gran escala, en algunos casos intentando duplicar el volumen de visitantes en cortos períodos de tiempo. En este estudio se refleja que dicha perspectiva de crecimiento económico conlleva grandes cargas de carbono, ya que el turismo es una actividad significativamente más intensiva en carbono que otras áreas de desarrollo económico. En promedio, el desarrollo turístico no ha contribuido a la reducción de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Lenzen et al., 2018).

Como se puede apreciar en los dichos de Lenzen et al. (2018), la actividad turística sigue emitiendo grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, y no parece que se vayan a reducir considerablemente al menos en el corto plazo.

Ya que el trabajo precitado de Lenzen et al. (2018) hace mayor hincapié en la emisión de dióxido de carbono del turismo en general y hace referencia en muchos casos a las emanaciones de este gas por parte de los aviones, cabría preguntarse cómo es la situación en el caso particular del Turismo Espacial.

Según DeLuca et al. (2013) las conclusiones de los estudios realizados sugieren que sólo un mínimo impacto podría ser atribuido a las actividades relacionadas al espacio efectuadas por el humano. Sin embargo, estas conclusiones optimistas fueron basadas en datos estadísticos disponibles a mediados de los 90, lo cual comprendió unas pocas decenas de vuelos por año en todo el mundo. Si los pronósticos realizados se cumplen, en unos pocos años el mercado del turismo espacial requerirá de alrededor de miles de vuelos por año, por lo que los niveles de contaminación aumentarían (DeLuca et al., 2013).

Al respecto, Ross et al. (2010) publicaron un estudio académico acerca del potencial cambio climático en el caso de que vehículos híbridos vuelen diariamente desde los Centros Espaciales turísticos. De acuerdo con los autores, esto puede representar una amenaza para el equilibrio climático global, ya que los motores de los vehículos espaciales emiten más carbono negro por unidad de masa de combustible que los aviones y vehículos aéreos. Asimismo, se ha estimado que el tiempo de prolongación de la contaminación generada por las emanaciones de las aeronaves espaciales, es mayor debido a la secreción directa de gases en la estratósfera superior (a diferencia de la contaminación de los aviones). Por lo tanto, 1.000 lanzamientos por año de vehículos suborbitales crearían una capa persistente de partículas de carbono negro en la zona norte de la estratósfera. Esto podría causar cambios potenciales significativos en la circulación atmosférica global y las distribuciones de ozono y temperatura. Las abundancias del ozono estratosférico tropical se estiman que cambiarían hasta en un 1%, mientras que el ozono polar se vería modificado hasta en un 6%. Las temperaturas de la superficie polar se alterarían hasta en un grado celsius regionalmente con impactos significativos en las fracciones de hielo del mar polar (Ross et al., 2010).

Esta discusión estuvo concentrada en las alteraciones en la fuerza radiativa de la atmósfera como consecuencia de las emisiones de dióxido de carbono. La fuerza radiativa es un parámetro que determina como las actividades humanas alteran el balance de energía de la Tierra. La radiación solar promedio en la Tierra es de 342 W/m<sup>2</sup>. Una fracción (69%) de esta energía es absorbida por la Tierra y la atmósfera y debe ser irradiada de nuevo al espacio para un correcto balance de energía. El incremento en la concentración de gases de invernadero y otros contaminantes, tales



como el carbono negro o dióxido de carbono, actúan en la absorción radiativa y los coeficientes de emisión de la atmósfera, cambiando los parámetros de fuerza radiativa debido a que se absorben las ondas cortas de radiación solar (DeLuca et al, 2013).

De acuerdo a lo mencionado por los autores Ross et al. (2010), luego de una década de continuos lanzamientos, el promedio de la fuerza radiativa global del carbono negro excedería la fuerza del dióxido de carbono emitido en un factor de 105 y sería comparable a la fuerza radiativa de la aviación subsónica (vuelo por debajo de la velocidad del sonido) actual (DeLuca et al, 2013).

La fuerza radiativa del carbono negro emitido por los vehículos espaciales se estima que es linealmente dependiente del índice EIBC de la fuente de emisión. Como un punto de partida, Ross et al. (2010) asumieron que el índice de las aeronaves híbridas N20/HTPB es de 60 kg de combustible consumido, considerablemente mayor que el índice de los vehículos de combustible líquido LOX/RP1, establecido en 20 a 40 gramos debido al ritmo de oxidación del carbón inferior. Esto representa el punto crucial para la evaluación del impacto global (DeLuca et al, 2013).

Adicionalmente, el autor Rueda Carazo (2015) cita las predicciones realizadas por Williams (2009) quien alude que los viajes suborbitales turísticos incrementarían las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. El autor proyecta que cada turista espacial que realice esta modalidad de viaje produciría 6 toneladas de CO<sub>2</sub> en el transcurso del viaje, sin tener en consideración las cantidades de energía y recursos que requieren los vehículos espaciales y el mantenimiento de las instalaciones en tierra.

En contraste, según Goelich (2014) estudios extensivos acerca de las emisiones causadas por el transporte espacial, en los que se incluye el Turismo Espacial, en el período de 2010-2065 en un escenario de 200.000 pasajeros espaciales por año reveló que las emisiones de los viajes turísticos espaciales rondaría los 0,006 y los 1,5% de las emisiones provenientes del transporte aéreo.

Aunque la información expuesta en el siguiente gráfico refleje datos favorables al Turismo Espacial, hay que considerar que las emisiones causadas por este tipo de transporte cubren la mayoría de las emanaciones en altitudes mayores al tráfico de aerolíneas. Los gases expulsados en zonas sensibles de la alta atmósfera deben tener una especial consideración, del mismo modo, no hay que dejar de lado la contaminación proveniente de los centros espaciales (Goelich, 2014).

Fuentes		H2O	CO	CO2	HCl	NO
Antrópicas	Transporte Espacial	<23	n.a.	<0,0005	n.a.	<0,005
	Transporte Aéreo	>436	>0,26	>1.070	n.a.	>5
	Quema de combustibles fósiles	8.300	n.a.	20,350	2	n.a.
	Otros	n.a.	1.490	n.a.	n.a.	85
Naturales	Volcanes	n.a.	n.a.	n.a.	5	n.a.
	Océanos	525.000	n.a.	n.a.	330	n.a.

Gráfico 8. Emisiones de gases del Transporte Espacial en comparación con otras fuentes de gases. Fuente: Goelich (2014).

Considerando los aportes de los trabajos citados en este apartado, es claro que mayores cantidades de vuelos anuales de vehículos para el Turismo Espacial incrementarían las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, y no menos importante, estas secreciones de gases se dan en lugares sensibles, al producirse directamente en la atmósfera.



Las divergencias en las estimaciones citadas se deben a los tipos de combustibles y vehículos en los que se basaron los trabajos.

Resultaría de utilidad entonces, analizar de manera genérica cuánto aportarían de CO<sub>2</sub> los vehículos de las compañías que se perfilan a ser los oferentes de viajes turísticos al espacio en la actualidad, mencionadas en este trabajo.

De acuerdo con Seedhouse (2014) y Van Pelt (2012) la compañía de viajes turísticos espaciales Virgin Galactic asegura que puede poner 8 personas en el espacio generando la misma cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> que un solo asiento de un vuelo de Nueva York a Londres. Esto sería 604,2 kg de CO<sub>2</sub> por vuelo de la empresa de Turismo Espacial precitada, por lo que suponiendo 1.000 vuelos anuales del vehículo SpaceShipTwo de esta empresa, se alcanzarían los 604.200 kg de dióxido de carbono anuales. Esto representaría una milésima de los niveles de emisiones que típicamente emiten las principales aerolíneas a la atmósfera anualmente (Seedhouse, 2014) (Pandey, 2012).

Según los aportes de Pandey (2012), un estudio realizado por Futron concluyó que según la tecnología suborbital actual se emitirían 3 toneladas de CO<sub>2</sub> por pasajero. De este modo, siguiendo el supuesto de 1.000 vuelos por año, y suponiendo que se llevarían 6 pasajeros por cada vuelo, según este estudio, se deduce que se emitirían 18.000 toneladas de Dióxido de Carbono al año. Para ponerlo en perspectiva, y utilizando los mismos puntos de comparación del estudio en cuestión, esto equivale a 1,6 días de funcionamiento de una central eléctrica de gas de 500 MW, o 1 día de usuarios de dispositivos electrónicos del Reino Unido, tales como un televisor, dejándolos encendidos, según los datos expuestos por el autor. Asimismo, según *Civil Aviation Authority* (2017), las emisiones de British Airways en el año 2013 fueron de 18.100.000 toneladas, resultantes principalmente de las operaciones de vuelo. Por lo que las emisiones por vuelos suborbitales equivaldrían al 0,099 % de las emisiones anuales de la aerolínea precitada.

Cabría también pensar, un caso más extremo, considerando que se realizaran vuelos con fines turísticos con el sistema de propulsión Soyuz, como todos los viajes turísticos espaciales realizados hasta la fecha. En este caso, extrayendo el dato de Pandey (2012) que un vuelo orbital a la Estación Espacial Internacional (EEI) con el vehículo ruso, implicaría 143.000 toneladas de CO<sub>2</sub> por pasajero. De este modo, conociendo que los vuelos a la EEI con este vehículo implicaban un turista y dos cosmonautas profesionales, se llega a un total de 429.000 toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por vuelo. Si se supone que se realizarán 100 vuelos orbitales con fines turísticos a la EEI por año, se emitirían 42.900.000 toneladas de dióxido de carbono. Esto equivaldría a más del doble de emisiones de British Airways en un año, tomando el dato precitado. Por lo que en este caso, con el turismo orbital utilizando este sistema de propulsión, las emisiones serían insostenibles.

Por último, se podría analizar las emisiones causadas por esta tipología de viajes si se utilizara tecnología de la empresa SpaceX. Se sabe que el Falcon 9 emite 341,6 kg por vuelo y que el Falcon Heavy emite 976 kg por vuelo (Abela et al., 2011). Si se supone que se realizarán 1.000 lanzamientos a la EEI, se emitirían 976 toneladas (o 976.000 kg) por año con el Falcon Heavy o 341,6 toneladas (341.600 kg) con el Falcon 9. Estas cifras equivalen al 5,39 % y al 1,89 % respectivamente de las emisiones anuales de la aerolínea British Airways en el año 2013. A su vez, comparando estos números se puede ver que los vehículos de la compañía SpaceX emitirían la mitad, en el caso del Falcon 9, o tan sólo un 61 % más que las emisiones anuales del SpaceShipTwo de Virgin Galactic.



De las tres principales empresas que se ha hecho mención en este trabajo se ha analizado sólo las emisiones de dos de ellas, esto no es casualidad, ya que de acuerdo con las declaraciones oficiales de Blue Origin, y por el tipo de combustible del motor B-3, los únicos residuos generados por este vehículo son vapor de agua, por lo que las emisiones de carbono son de 0 kg/toneladas. De este modo, 1.000 lanzamientos anuales del vehículo New Shepard no implicarían emisión alguna de dióxido de carbono en la atmósfera (Blue Origin, 2018).

Se puede observar en este apartado, que las tres principales empresas de Turismo Espacial emitirían escasas cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en comparación con la aviación, o hasta incluso ninguna como se vio en el último ejemplo. Asimismo, según Pandey (2012) y Van Pelt (2012) Virgin Galactic planea hacer funcionar su aeropuerto espacial con la mayor cantidad de energía renovable posible, lo que podría convertirlos en productores de energía alcanzando niveles negativos de emisiones de CO<sub>2</sub>, esto es, previniendo mayores emisiones de Dióxido de Carbono de las que emiten sus vehículos.

De esta forma, se puede afirmar que la incidencia de estas tecnologías en la atmósfera sería insignificante o nula, y ya que ninguno de estos vehículos utiliza combustibles tóxicos como la Dimetilhidrazina Asimétrica, que ya se ha estudiado en este trabajo, se puede concluir que la afectación al ambiente por operación de los vehículos espaciales para viajes turísticos sería insignificante.

Pero ¿son realmente insignificantes estas emisiones para la naturaleza?. Cabría pensar cuánta cantidad de CO<sub>2</sub> puede absorber una hectárea de bosque. Según Bengochea (2006) una hectárea de bosque mediterráneo absorbe en promedio unas 4 toneladas de este gas por año. Por lo que para absorber las emisiones derivadas de 1.000 vuelos anuales del vehículo de Virgin Galactic se necesitarían 151 hectáreas, o el 0,00017% de las hectáreas de bosque presentes en el Mediterráneo, las cuales rondan las 88 millones de hectáreas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019). Asimismo, la cantidad de CO<sub>2</sub> producido por el Falcon 9 y el Falcon Heavy de SpaceX requerirían de 85 hectáreas o el 0,000096% de los bosques del Mediterráneo en el primero caso, y 244 hectáreas o el 0,00027% del total de bosques de la misma región de referencia.

Asimismo, en comparación con las cantidades de CO<sub>2</sub> emitidas por actividades antrópicas que según el Foro Nuclear (2017) fueron de 32.381 millones de toneladas en el 2014. Las emisiones de los tres vehículos en consideración juntos, es decir 604,2 toneladas de Virgin Galactic y 976 más 341,6 toneladas de SpaceX equivaldrían al 0,000061% de las emisiones totales de Dióxido de Carbono en todo el mundo derivadas de las actividades del ser humano. Por lo que en este caso, 3.000 vuelos turísticos al espacio serían insignificantes en cuanto a emanaciones de CO<sub>2</sub> a escala mundial.

De esta forma, las tecnologías aplicadas por esta rama del Turismo parecen prometedoras, sin embargo el oferente que se destaca es Blue Origin, por no sólo sus vehículos reutilizables, y su iniciativa de reutilizar plataformas ya existentes para aminorar los impactos generados, sino que además su emisiones nulas derivadas de la combustión de las aeronaves utilizadas la coloca como la compañía con prácticas más sostenibles de las tres en consideración.

Sin embargo, se podría suponer un caso más extremo, es decir, vuelos turísticos al espacio utilizando vehículos a base de Dimetilhidrazina Asimétrica.

Si se toman los escenarios más pesimistas, suponiendo el lanzamiento de 1.000 vuelos turísticos anuales, de un vehículo espacial que funcione a base de combustible de Dimetilhidrazina Asimétrica (tomando como referencia el vehículo ruso Proton) se obtiene por cada lanzamiento el derrame de 524 mg debajo del sistema de propulsión,



2.200 mg por derrames provenientes de los tanques de combustibles y 1,5 mg esparcidos por 737 m<sup>2</sup> provenientes de fragmentos desprendidos de la primera etapa del vehículo (ya que esta aeronave posee varias etapas y no cuenta con sistemas reutilizables como los que poseen las aeronaves de las empresas de Turismo Espacial). Se utiliza el supuesto que este vehículo posee dos etapas en total. Dicho esto, es importante aclarar que sólo existiría contaminación química en las áreas de impacto de la primera etapa, no así de la segunda. Además se utiliza el caso del desarrollo de estas actividades de vehículos espaciales en un ecosistema vulnerable, es decir que requiere mayor tiempo de asimilación y posee un ritmo de degradación más lento de los residuos contaminantes, así como también, que posee menor tolerancia a residuos tóxicos.

Aunque la DA se evapora inmediatamente del suelo, y tomando como referencia los datos aportados por Koroleva et al. (2018), como máximo sólo el 4% de estas cantidades permanecerían al día siguiente, el 0,5 % al cabo de 90 días, y tan sólo 0,1% al cabo de un año. Relacionado a esto, el estudio realizado por Carlsen et al. (2008), muestra que la DA es rápidamente biodegradable y no es bioacumulable, a pesar de que sus agentes derivados poseen un alto potencial de migración y que pueden ser igual o más tóxicos que el contaminante principal.

Asimismo, se toma como referencia que luego de la inyección de 200 mg de DA, toda actividad biológica muere. A partir de esto, se puede observar que en las áreas debajo de los sistemas lanzadores toda actividad biológica quedaría aniquilada. Lo mismo sucedería en el caso de las áreas con derrames de combustible de los tanques, en el caso de que existieran derrames. Sin embargo, el área de 737 m<sup>2</sup> preservaría su actividad biológica, sin inconveniente.

Como se mencionó más arriba, suponiendo una cantidad de 1.000 lanzamientos anuales, significaría más de 2 lanzamientos diarios, por lo que aún en ese caso el área de impacto de 737m<sup>2</sup> permanecería con su ecosistema intacto. Por otro lado, las áreas debajo del vehículo y en las zonas de derrame de los tanques de combustible quedarían aún en peores condiciones y con necesidad de mayor tiempo para la degradación de los residuos remanentes.

Si se toma este escenario como pesimista y como caso extremo, se puede ver que sólo el área de la plataforma de despegue, debajo del sistema de propulsión, y en las áreas (de existir) donde se produzcan derrames de combustible se estaría afectando el ecosistema. En el resto de las zonas, el impacto químico de la DA es insignificante, incluso manteniendo un ritmo de vuelos de más de 2 por día o 1.000 anuales. Estos datos fueron recolectados del Cosmódromo Baikonur y partir de los estudios derivados del vehículo Proton ruso de Koroleva et al. (2018).

A partir de este análisis se ve que la contaminación máxima se daría en el caso del uso de combustibles que posean DA que afectaría el ecosistema de la forma mencionada anteriormente. Dicho esto, el uso de otros tipos de combustibles que resultan ser menos nocivos, implicarían efectos insignificantes sobre el ambiente como se ha mencionado anteriormente en este apartado.

## **CAPITULO 4 – CONSIDERACIONES FINALES**



## **Observaciones, conclusiones, y recomendaciones**

Se observa que la modalidad de viajes turísticos al espacio está más cerca que nunca de llevarse a cabo a escala masiva (más de 1.000 vuelos anuales) con la aparición de empresas que planean ofrecer vuelos cortos al espacio utilizando tecnología reutilizable y de vuelos suborbitales. Estos viajes costarían menos del 1% de lo que ha costado el último de los viajes de turistas al espacio realizado hasta la fecha, por lo que se ampliaría exponencialmente la demanda de este tipo de vuelos, pudiendo alcanzar los 85.000 clientes para el año 2030. A partir de esto, se deduce que el desarrollo de una modalidad de viajes turísticos al espacio a escala masiva implicaría el incremento en la cantidad de vehículos lanzados al espacio, por lo que los niveles de contaminación inevitablemente se verían aumentados. Por este motivo, surge el análisis del presente escrito, con motivo de prever e intentar deducir el nivel de incremento en los contaminantes emitidos, y los potenciales impactos que el Turismo Espacial podría causar en el ambiente terrestre.

En primer lugar, resulta importante mencionar el rol que cumplió el Turismo Espacial en sus inicios, e incluso hoy en día, formando parte de la financiación de agencias espaciales como la de Rusia, que vio en la venta de asientos extras a civiles, un ingreso de fondos muy provechoso para financiar las actividades principales de esta entidad, ya que dichos fondos permitieron la continuación del funcionamiento de la Agencia rusa. En la actualidad otro ejemplo es el de SpaceX que como parte de su proyecto de llegar a Marte planea enviar un grupo de turistas a orbitar la Luna entre el año 2019 y el año 2020 para financiar su proyecto principal.

Seguidamente, también se vio en este trabajo que las prácticas sostenibles deben implementarse desde un inicio, con una planificación que incorpore todas las distintas políticas que entran en juego cuando se trata de turismo. Así, aunque en sus primeros vuelos con el Soyuz se haya emitido grandes cantidades de CO<sub>2</sub> (143.000 toneladas por pasajero) el Turismo Espacial, como se mencionó en esta investigación, se está desarrollando con prácticas sostenibles por parte de los principales oferentes de esta tipología de viajes. De esta forma, las principales compañías de viajes turísticos espaciales utilizan combustibles que son mucho menos nocivos que la DA, ya que al contrario de este tipo de combustible, no son causantes de enfermedades crónicas y/o terminales, ni potencialmente cancerígenos como lo es esta clase de carburante. Asimismo, emanan mucha menos cantidad de gases tóxicos como el CO<sub>2</sub>, ya que en el peor de los casos un vehículo de Turismo Espacial emana el 0,0002% de lo que emana el Soyuz por vuelo, y hasta en algunos casos como el de la empresa Blue Origin, su emisión de gases es nula, siendo vapor de agua el único producto de la combustión de los motores utilizados.

Por otro lado, a partir de lo expuesto en este trabajo, se puede deducir que el nivel de impacto que esta actividad tiene sobre el ecosistema en donde se encuentra inmerso dependerá de las prácticas llevadas a cabo y el tipo de vehículo utilizado. En aquellos lugares donde las plataformas de lanzamiento sólo sirven para un tipo específico de lanzador se generan mayores niveles de contaminación, ya que cuando dicho lanzador queda obsoleto por los nuevos desarrollos tecnológicos, la estructura de lanzamiento queda inutilizada y suele acumular desechos que estimulan la generación de agentes contaminantes. Del mismo modo, aquellas aeronaves que cuentan con varias etapas y que no son reutilizables como las que se usó durante toda la era espacial desde los años 50 del siglo XX y que continúan utilizándose el día de hoy, generan grandes cantidades de basura espacial que caen a la superficie, las cuales pueden rondar las 70 toneladas en promedio luego de cada lanzamiento. Sumado a esto, las prácticas



ineficientes en el traslado de combustibles que han causado derrames accidentales pueden incrementar hasta en un 10% la contaminación total en aquellos lugares donde existieron filtraciones, lo cual resulta especialmente peligroso en caso de derrame de componentes de hidrógeno ya que pueden desatar incendios, y sumado a que estas filtraciones producen efectos negativos sobre el suelo y la flora del lugar afectado. A esto se le suma que muchos de los combustibles utilizados históricamente y que aún se continúan utilizando como la Dimetilhidrazina Asimétrica (DA) son muy nocivos ya que como es el caso de la DA, este carburante puede producir afectaciones en órganos como el hígado y es potencialmente cancerígeno en animales. Por otro lado, las grandes cantidades de combustibles de reserva, que oscilan entre el 2 y el 3% de la cantidad total para casos de emergencia hicieron que los fragmentos de aeronaves espaciales que impactan sobre la superficie contengan toneladas de propelente remanente, debido a las reservas con las que cuentan los vehículos, generando contaminación adicional en el ecosistema de impacto.

En adición, como se ha visto también, la construcción de complejos de lanzamiento implica grandes cambios en el ecosistema local, sin embargo, la mayoría de ellos fueron estratégicamente ubicados en zonas despobladas y de escasa riqueza en flora y fauna para impedir que las actividades del Centro Espacial generen mayores impactos ambientales. Sin embargo, esto en algunos casos como el del Cosmódromo de Baikonur, que fue analizado en este trabajo, puede implicar que la falta de riqueza del ecosistema esté acompañado con una mayor dificultad para regenerarse y auto-restaurarse ante los impactos en comparación a otros tipos de ecosistemas como los tropicales. No obstante, nuevamente, estos grandes impactos fueron debido al uso de combustibles tóxicos como la DA y la utilización de vehículos que dejaban toneladas de desechos sólidos. Con respecto a los centros espaciales, también es importante mencionar que la construcción de los nuevos sitios de lanzamiento destinados al Turismo Espacial como es el Caso de *SpaceSport America*, está siendo orientada a las prácticas sostenibles, en dónde en este Aeropuerto Espacial mencionado, el reciclaje de agua, ahorro de energía y prevención de emisiones de CO<sub>2</sub> rigen los programas de funcionamiento de este sitio.

En torno a las medidas paliativas y de mitigación con respecto a las prácticas insostenibles que se han desarrollado a lo largo de la historia de la era espacial desde la década de los 50 del siglo XX, algunos autores citados en este trabajo hacen algunas recomendaciones. Las previsiones y recomendaciones por parte de Kiselev et al (2012) que pueden reducir el impacto ambiental de la actividad espacial son:

- La tendencia creciente en la utilización de combustibles no tóxicos.
- El diseño de lanzadores con etapas reutilizables.
- El uso de equipamiento de despegue uniforme, que permita usar una misma plataforma para distintos tipos de lanzadores.

Por otra parte, considerando los grandes daños e impactos ambientales que pueden causar los accidentes derivados de un lanzamiento de un vehículo espacial, los autores Romanov & Romanova (2003) aluden que la evaluación de los accidentes no puede estar basada en experiencia práctica sino que la única manera de efectuar un estudio de los problemas de seguridad es a través de un cálculo de los factores de riesgo. El peligro potencial debe ser evaluado de manera cuantitativa. Estos autores recomiendan formular pronósticos en base a modelos matemáticos para evitar de manera preventiva los posibles accidentes que podrían tener lugar en la operación de vehículos espaciales.



Adicionalmente, los autores Neronov et al. (2012) recomiendan que sea necesario considerar la resistencia del ecosistema vegetal a los efectos antrópicos específicos que surgen como consecuencia de la explotación de los objetos existentes y la construcción de nueva infraestructura en un centro de lanzamiento. Esto, permitirá minimizar los riesgos ambientales y disminuirá los niveles de transformaciones antrópicas de los paisajes naturales. Sumado a esto, la implementación de una categorización de la resistencia de la vegetación en: poco resistente, resistente y altamente resistente, subsecuentemente hará posible el desarrollo de medidas de recultivación científicamente validadas en las áreas en las que se compruebe que es lo conveniente a realizar. En relación a este aspecto mencionado por los autores, desde la perspectiva de este trabajo que se apoya la idea que una evaluación ambiental óptima ante un proyecto de construcción de algún sitio de lanzamiento debería contener el análisis de la resistencia por parte del ecosistema local, según el planteo de estos autores, sólo de esta manera se puede prever el nivel de impacto que tendrán las actividades sobre el entorno natural y las medidas de mitigación necesarias que se deben tomar. En este caso juega un rol muy relevante la entidad gubernamental a cargo de la regulación de las actividades aeronáuticas. La Asociación Federal de Aeronáutica (FAA por sus siglas en inglés) en los Estados Unidos exige una Evaluación de Impacto Ambiental ante un proyecto de construcción de un centro espacial, o la incorporación de un nuevo vehículo al inventario de un sitio ya existente. No obstante, no en todos los países que poseen infraestructura y vehículos espaciales se exigen estas medidas.

Asimismo, de acuerdo a los dichos de Krechetov et al. (2011), para la prevención de impactos negativos adicionales sobre el suelo y la vegetación se deben imponer mayores restricciones en las regulaciones tanto en la búsqueda de etapas caídas como en el traslado de equipamiento y maquinarias fuera de las carreteras existentes. Asimismo se deben incrementar los procesos de limpieza de pequeños fragmentos y desprendimientos de las etapas en las zonas de impacto. Para acelerar el proceso de restauración de la cobertura vegetativa de las áreas de impacto de las primeras etapas es necesario implementar medidas de recultivación adaptadas a las condiciones del lugar. Los trabajos de recultivación en los que se ha nivelado el suelo han aumentado la tasa de restauración del mismo. Nuevamente entra en juego el rol de la entidad estatal a cargo de la regulación de la actividad, para hacer efectiva la exigencia de los análisis pertinentes para la medición y mitigación de los impactos ambientales.

Por otro lado, los autores Abdrazak & Musa (2015), sugieren que se prohíba inmediatamente el uso de vehículos espaciales, ya sea despegando desde Kazajstán o volando sobre el país. Asimismo, mencionan que se deberían prohibir también todos los tipos de vehículos espaciales que funcionan a base de Dimetilhidrazina Asimétrica o similares tipos de combustibles tóxicos ya que constituye una amenaza extrema a la salud y bienestar de la población de la República de Kazakstán. En este caso, la mirada de los locales de este país afectados por las actividades del Cosmódromo se ve reflejada en los dichos de estos autores. Es necesario aclarar que países como Estados Unidos no utiliza este combustible en sus vehículos lanzados, aunque sí se sigue utilizando en varias aeronaves de las agencias de China y Rusia, esto debido a su practicidad y su funcionalidad. En este caso, entidades estatales a nivel mundial deberían aumentar las exigencias en el uso de combustibles más amigables para el ambiente de nuestro planeta, proveyendo de facilidades hacia el uso de combustibles ecológicos e imponiendo restricciones al uso de combustibles como la DA.

Por otra parte, con respecto a las emisiones, según Goehlich (2014) los operadores de vuelos turísticos deberían pagar una penalidad según la cantidad de emisiones que generan. Sin embargo, el hecho de que no se sepa bien los efectos de estos gases



emitidos en las altas capas de la atmósfera dificulta las mediciones para poder aplicar esta modalidad de penalizaciones. Por lo tanto, hasta que los expertos no logren formular un esquema cuantitativo para poder medir este tipo de emanaciones no podrá aplicarse esta restricción.

Desde la perspectiva de este trabajo se recomienda integrar el valor social en la contemplación de las actividades de vehículos espaciales, de manera de obtener desde un análisis inicial del impacto socio-ambiental que tiene el desarrollo de una determinada actividad sobre el ambiente circundante. La contemplación del valor social real que tiene una actividad aporta una perspectiva sostenible, ya que como se vio en este escrito, el rechazo de las comunidades locales y los daños en el ambiente se vuelven evidentes con el tiempo. En el caso comentado del Cosmódromo de Kazajstán el rechazo de la comunidad local para con las actividades de aeronaves espaciales es tal que quiere erradicar por completo dicha actividad del país. La mirada de los locales es completamente negativa como se ve expresado en los dichos de Abdrazak & Musa (2015). Asimismo en el caso de la Agencia Espacial de Japón, la actividad de vehículos espaciales afectó el desarrollo de la pesca por parte de los locales, quienes reclamaron que se modifiquen las fechas de lanzamientos para evitar que coincidan con las temporadas de pesca. De igual manera, los aspectos culturales de las comunidades locales deben ser tenidos en consideración, como fue el caso de las comunidades autóctonas de la costa de Florida, quienes se vieron afectadas por el retiro de tierras sagradas para la construcción del complejo de Cabo Cañaveral. De esta forma, si se contemplan las actividades económicas desarrolladas y aspectos culturales de las comunidades locales, en las áreas adyacentes a los Centros Espaciales, y áreas que podrían verse afectada por los lanzamientos de aeronaves entonces se podría realizar de manera sostenible la actividad de vuelos turísticos al espacio.

Por otra parte, una recomendación en particular que se propone desde la perspectiva de este trabajo es imponer un impuesto a aquellos tipos de combustibles como la Dimetilhidrazina Asimétrica que se ha demostrado empíricamente que son altamente contaminantes y favorecer aquellos combustibles ecológicos como los compuestos por hidrógeno y oxígeno. Ya que el primer combustible resulta varias veces más barato, con mayores facilidades de almacenamiento y durabilidad, la imposición de un impuesto que redirija los fondos directamente en subsidios para el uso de combustibles ecológicos podría inclinar la balanza e impulsar el uso de combustibles amigables con el ambiente. De esta forma, al volverse estos combustibles más baratos y más convenientes para las empresas y agencias públicas, al tiempo que se encarece y se perjudica el uso de combustibles nocivos, haciendo que estos caigan en desuso, favoreciendo la preservación ambiental, se puede impulsar la sostenibilidad en la actividad de vehículos espaciales.

Por último, a modo de conclusión final, en respuesta a si el Turismo Espacial con las prácticas llevadas a cabo en la actualidad sería sostenible o no a escala masiva, bajo el supuesto de 1.000 vuelos anuales, esta modalidad turística implicaría efectos insignificantes sobre el ambiente del planeta Tierra:

Las emisiones de Dióxido de Carbono por el lanzamiento de 1.000 vuelos anuales de cualquiera de los vehículos utilizados para el Turismo Espacial, representarían entre el 1 y el 5% de las emisiones anuales derivadas de las actividades de aerolíneas comerciales promedio como British Airways. Asimismo, estas emisiones representarían entre 85 y 244 hectáreas de bosque del Mediterráneo para ser contrarrestado, es decir entre el 0,000096% y el 0,00027% del total de hectáreas de bosque de esta región del mundo, por lo que la naturaleza no tendría problemas para absorber las emanaciones generadas por estos vehículos. Del mismo modo, la no utilización de combustibles altamente tóxicos, como el mencionado Dimetilhidrazina Asimétrica permite prever que



la afectación sobre el ecosistema será mínimo en caso de derrame de componentes de combustible residuales, ya que estos no implicarían la eliminación de actividad biológica en las áreas con presencia de combustible remanente derramado. Sumado a esto, la utilización por parte de las empresas de Turismo Espacial de vehículos espaciales reutilizables, permite erradicar por completo la problemática de la caída de desprendimientos derivados de la existencia de varias etapas en las aeronaves lanzadas, lo cual permite eliminar una de las principales fuentes generadoras de contaminación, al tiempo que se descartan las zonas de impacto que afectan considerablemente a las poblaciones que habitan las zonas aledañas.

Sin embargo, para que esto suceda y se mantenga a lo largo del tiempo, es importante el involucramiento de las empresas que participan de esta tipología turística en las prácticas sostenibles y de las regulaciones por parte de los entes a cargo de monitorear el desarrollo de estas actividades. Es importante que las políticas en materia turística tengan como eje central la sostenibilidad y que las normas de regulación que se establezcan tengan esto como prioridad y se hagan efectivas, así y sólo así, será posible que se desarrolle el Turismo Espacial de una manera sostenible.

### **Futuros trabajos**

Los futuros trabajos que podrían derivar del análisis realizado en este trabajo pueden comprender las siguientes temáticas:

- Contaminación Acústica del Turismo Espacial
- Imposición de un impuesto cruzado para abaratar los costos de imposiciones de combustibles más ecológicos en detrimento del uso de combustibles tóxicos
- Imposiciones legales para la regulación de los turistas que viajen al espacio
- Normas legales para la regulación de Evaluaciones de Impacto Ambiental que exijan la construcción y el uso de vehículos espaciales sostenibles
- Evaluaciones socio-ambientales para el análisis de los impactos ambientales sobre las comunidades locales derivados del Turismo Espacial

### **Bibliografía de referencia**

1. Abdrazak, P. K., & Musa, K. S. (2015). The impact of the cosmodrome «Baikonur» on the environment and human health. *International Journal of Biology and Chemistry*, 8(1), 26-29.
2. Abela, A., Berg, E., Fillmore, L., Kaisersatt, S., Lebow, C., Nieto, M. P., & Thompson, V. (2011). *Final Environmental Assessment: Falcon 9 and Falcon 9 Heavy Launch Vehicle Programs from Space Launch Complex 4 East at Vandenberg Air Force Base, California*. MANTECH SRS TECHNOLOGIES INC LOMPOC CA.
3. Akiyama, T. (1993). The pleasure of spaceflight. *Journal of Space Technology & Science*, 9(1), 21–23.
4. American Institute of Aeronautics. (1991). *Atmospheric Effects of Chemical Rocket Propulsion: Report of an AIAA Workshop, Sacramento, California, 28-29 June 1991*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.



5. Arribas, G.F. (s.f.), El Turista Espacial y su consideración en el derecho internacional público.
6. Bengochea Morancho, A., Magadan Diaz, M., & Rivas Garcia, J. (2006). *Actividad turística y medio ambiente* (No. 338.48). e-libro, Corp..
7. Blue Origin. Tomado de <https://www.blueorigin.com/engines>, (20 de Diciembre de 2018).
8. Broderick, J. (2009). Voluntary carbon offsets: A contribution to sustainable tourism? In S.Gössling, C. M. Hall, & D. Weaver (Eds.), *Sustainable tourism futures: Perspectives on systems, restructuring and innovations* (pp. 169–199). New York: Routledge.
9. Carlsen, L., Kenesova, O. A., & Batyrbekova, S. E. (2007). A preliminary assessment of the potential environmental and human health impact of unsymmetrical dimethylhydrazine as a result of space activities. *Chemosphere*, 67(6), 1108-1116.
10. Carlsen, L., Kenessov, B. N., & Batyrbekova, S. Y. (2008). A QSAR/QSTR study on the environmental health impact by the rocket fuel 1, 1-dimethyl hydrazine and its transformation products. *Environmental health insights*, 1, EHI-S889.
11. Carlsen, L., Kenessov, B. N., & Batyrbekova, S. Y. (2009). A QSAR/QSTR study on the human health impact of the rocket fuel 1, 1-dimethyl hydrazine and its transformation products: Multicriteria hazard ranking based on partial order methodologies. *Environmental toxicology and pharmacology*, 27(3), 415-423.
12. Chang, Y.W., 2015. The first decade of commercial space tourism. *Acta Astronautica*, 108, pp.79-91.
13. Civil Aviation Authority. (2017). Information on aviation's environmental impact.
14. Cole, S. (2015). Space tourism: prospects, positioning, and planning. *Journal of Tourism Futures*, 1(2), 131-140
15. Davenport, C. (2015). Space tourism is closer to taking off, but how should it be regulated? *Los Angeles Times. Business/Technology*. 24.11.2015.
16. DeLuca, L. T., Galfetti, L., Maggi, F., Colombo, G., Merotto, L., Boiocchi, M., ... & Fanton, L. (2013). Characterization of HTPB-based solid fuel formulations: Performance, mechanical properties, and pollution. *Acta Astronautica*, 92(2), 150-162.
17. Díaz, E.A., 2013. Políticas turísticas. Facultad de Ciencias Económicas de la UNLP.
18. Federal Aviation Administration (2018). *The annual compendium of commercial space transportation 2018*.
19. Filippone, A. (2008). Analysis of carbon-dioxide emissions from transport aircraft. *Journal of Aircraft*, 45(1), 185-197.
20. Goehlich, R. A. (2014). Space Tourism: Hurdles and Hopes. *International Journal of Aviation Systems, Operations and Training (IJASOT)*, 1(1), 17-34.
21. Haun, C. C., Kinkead, E. R., Vernot, E. H., Gaworski, C. L., MacEwen, J. D., Hall III, A., ... & Bruneer, R. H. (1984). Chronic inhalation toxicity of unsymmetrical dimethylhydrazine: oncogenic effects. CALIFORNIA UNIV DAYTON OH.



22. Heathman A., (2017). "The First Houses have been fitted with Tesla's Solar Roof Panels". Tomado de <http://www.wired.com.uk/article/elon-musk-solar-city-roof>. (30 de agosto de 2018).
23. Jakhu, R. S. (2017). *Global Space Governance: an International Study*. J. N. Pelton (Ed.). Springer.
24. Karpachevskiy, A. M., ... & Kasimov, N. S. (2018). The environmental impact of space transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 54-69.
25. Kiselev, A. I., Medvedev, A. A., & Menshikov, V. A. (2012). *Astronautics: Summary and prospects*. Springer Science & Business Media.
26. Kolumbayeva, S., Begimbetova, D., Shalakhmetova, T., Saliev, T., Lovinskaya, A., & Zhunusbekova, B. (2014). Chromosomal instability in rodents caused by pollution from Baikonur cosmodrome. *Ecotoxicology*, 23(7), 1283-1291.
27. Koroleva, T. V., Krechetov, P. P., Semenov, I. N., Sharapova, A. V., Lednev, S. A.,
28. Krechetov, P. P., Neronov, V. V., Koroleva, T. V., & Chernistova, O. V. (2011). Transformation of the soil-vegetation cover in carrier rocket first-stage impact areas. *Arid Ecosystems*, 1(1), 59.
29. Kuzgibekova, A. B., Muldayeva, G. M., Abeuova, B. A., Yeryomicheva, G. G., Baesheva, D. A., Tashkenbayeva, V. B., ... & Zhumakanova, K. S. (2016). The state of health of children living in adverse environmental conditions. *Australasian Medical Journal (Online)*, 9(12), 474
30. Le Goff, T. and Moreau, A., 2013. Astrium suborbital spaceplane project: Demand analysis of suborbital space tourism. *Acta Astronautica*, 92(2), pp.144-149.
31. Lenzen, M., Ya-Yen, S., Faturay, F., Yuan-Peng, T., Geschke, A & Malik, A. (7 de Mayo de 2018). The Carbon Footprint of Global Tourism. *Nature Climate Change (2018)*.
32. Liao, Q., Feng, C., & Wang, L. (2016). Biodegradation of Unsymmetrical Dimethylhydrazine in Solution and Soil by Bacteria Isolated from Activated Sludge. *Applied Sciences*, 6(4), 95.
33. Mowforth, M., & Munt, I. (2015). *Tourism and sustainability: Development, globalisation and new tourism in the Third World* (4th ed.). Abingdon: Routledge.
34. Naciones Unidas. Tomado de: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html> (3 de enero de 2019).
35. Neronov, V. V., Chernitsova, O. V., Koroleva, T. V., & Krechetov, P. P. (2012). Contemporary state of vegetation in Baikonur Cosmodrome and estimate of its potential resistance to impact of space-rocket activities. *Arid Ecosystems*, 2(3), 186-196.
36. Northwestern University, Evanston, Illinois, Estados Unidos. Tomado de: <http://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/propulsion/2-what-are-the-types-of-rocket-propulsion.html> (6 de enero de 2019).
37. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 27/05/2019 de <http://www.fao.org/news/story/es/item/1171780/icode>



38. Pandey, M. M., 2012. The Possibility of Space Tourism in India: Issues and Concerns.
39. Petrov Angelov, P., 2015. Turismo espacial: un mundo desconocido.
40. Porto, N. (1999). *El turismo como alternativa de crecimiento*. Departamento de Economía. Facultad de Ciencias Económicas. UNLP.
41. Rebecca Boyle (2011). Popular Science.  
<https://www.popsci.com/technology/article/2011-08/space-shuttles-and-rocket-launches-caused-1-billion-toxic-pollution/>
42. Reddy, M.V., Nica, M. and Wilkes, K., 2012. Space tourism: Research recommendations for the future of the industry and perspectives of potential participants. *Tourism Management*, 33(5), pp.1093-1102.
43. Reed, R., & Calia, V. (1993). Review of aluminum oxide rocket exhaust particles. In *28th Thermophysics Conference* (p. 2819).
44. Rincon, P. (2017). Queen's Speech: Plan Aims to Secure Space Sector. Recuperado de 14/6/2019 <http://www.bbc.com/news/science-environment-40354695>
45. Romanov, V. I., & Romanova, R. L. (2003). Risk factors of negative impact on objects of the environment upon accidents during launches of rocket-space hardware. *Cosmic Research*, 41(5), 494-501.
46. Rossi, E. (2015). Indicadores territoriales de sustentabilidad socio-ambiental aplicados al turismo. Implementación de una metodología participativa para el diseño de indicadores territoriales de sustentabilidad socio-ambiental aplicados a la actividad turística con la comunidad que habita en la Reserva de Biosfera "Parque Costero del Sur", ubicado en el partido de Punta Indio, Provincia de Buenos Aires (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Mar del Plata). Rueda Carazo, A., 2015. El impacto ambiental del turismo espacial: una perspectiva jurídica.
47. Rugescu, D. R. (2013). Environmental Issues Regarding Space Launches over the Black Sea. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 330, pp. 805-810). Trans Tech Publications.
48. Seedhouse, E., 2014. *Tourists in Space*. Springer, Cham.
49. SpaceX, s.f. Tomado de <https://www.spacex.com> (30 de agosto de 2018).
50. Spector, S., Higham, J.E. and Doering, A., 2017. Beyond the biosphere: tourism, outer space, and sustainability. *Tourism Recreation Research*, 42(3), pp.273-283.
51. Spencer, J. (2004). Space tourism. Do you want to go? Burlington: Apogee Books
52. Strom, S. R. (2005). International launch site guide. Aerospace Press.
53. Sutton, G. P., & Biblarz, O. (2016). *Rocket propulsion elements*. John Wiley & Sons.
54. Toivonen, A., 2017. Sustainable planning for space tourism. *Matkailuttkimus*, 13(1-2), pp.21-34.
55. Tsutsumi, S., Ishii, T., Ui, K., Tokudome, S. and Wada, K., 2014. Study on acoustic prediction and reduction of epsilon launch vehicle at liftoff. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 52(2), pp.350-361.



56. Universitat Autònoma de Barcelona. Guía 1. Ácido Nítrico. Recuperado el 25/5/19 de [https://www.uab.cat/doc/DOC\\_RiscosLab13\\_DF\\_Guia\\_us\\_Acid\\_Nitric](https://www.uab.cat/doc/DOC_RiscosLab13_DF_Guia_us_Acid_Nitric)
57. Van Pelt, M. (2012). *Rocketing into the future: the history and technology of rocket planes*. Springer Science & Business Media.
58. Voigt, C., Schumann, U., Graf, K., & Gottschaldt, K. D. (2013). Impact of rocket exhaust plumes on atmospheric composition and climate—an overview. *EUCASS Proceedings Series—Advances in AeroSpace Sciences*, 4, 657-670.
59. Webber, D., 2012, October. Space tourism—essential step in human settlement of space. In *63rd international astronautical congress, Naples, Italy*.
60. Webber, D., 2013. Space tourism: Its history, future and importance. *Acta Astronautica*, 92(2), pp.138-143.
61. Young, A., 2015. *The twenty-first century commercial space imperative*. Springer International Publishing.
62. Zaitsev, A. S., Gongalsky, K. B., Gorshkova, I. A., Krechetov, P. P., & Koroleva, T. V. (2011, September). Impact of rocket propellant (unsymmetrical dimethylhydrazine) on soil fauna. In *Doklady Earth Sciences* (Vol. 440, No. 1, p. 1340). SP MAIK Nauka/Interperiodica.