

La exploración del cosmos y los telescopios espaciales¹

Gloria Koenigsberger

*Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ave.
Universidad S/N, Cuernavaca, Morelos, 62210, México*

ABSTRACT

Se presenta una introducción general al tema de la Ciencia y la Tecnología y Espaciales, enfocada a las cuatro razones principales por las cuales la exploración espacial es importante: 1) la búsqueda del conocimiento, por el conocimiento mismo; 2) la seguridad nacional; 3) los beneficios comerciales; y 4) la sobrevivencia de la humanidad a largo plazo. Se incluye una recopilación de datos históricos sobre las sondas espaciales lanzadas por diversos países, así como datos sobre algunos de los riesgos involucrados en los vuelos tripulados.

Subject headings: Industria aeroespacial; estudios espaciales; telescopios espaciales

1. Introducción

El espacio interplanetario ha sido hasta hace poco tiempo una frontera impenetrable para los seres humanos. A pesar de los muchos vehículos espaciales que han sido construidos por hombres y mujeres en la Tierra, ninguno ha transportado a un ser humano mas allá de la Luna, y las últimas pisadas del *Homo Sapiens* en este satélite natural van a cumplir medio siglo. En cuanto a vehículos no tripulados, el artefacto terrícola que mayor distancia ha recorrido es el *Voyager-1*, lanzado a finales de los años 1970's y que apenas recientemente ha entrado al espacio interestelar² Sin embargo, los avances tecnológicos y los intereses comerciales actuales comienzan a ofrecer la posibilidad de que, en un futuro cercano, finalmente viajemos nuevamente los humanos a alguno de los cuerpos celestes vecinos.

¹Este texto fue redactado y formado en LaTeX por G. Koenigsberger utilizando la clase *aastex.cls* de la AAS y el paquete *graphicx*. Cualquier error es responsabilidad de la autora.

²Véase <http://voyager.jpl.nasa.gov/where/> en donde se monitoréa día con día el avance de este artefacto y su "gemelo", el *Voyager-2*.

Por otro lado, ante la imposibilidad de explorar el cosmos físicamente, hemos construido observatorios astronómicos que nos han permitido estudiar, no solo nuestro sistema solar, sino también estrellas y galaxias situadas a distancias inimaginables. Podemos caracterizar las últimas cuatro décadas como la Era de los Descubrimientos Astronómicos, por los fenómenos nuevos que se han observado, aunados al modelaje con simulaciones numéricas que permite explicar los procesos físicos observados.

Muchos de los nuevos descubrimientos astronómicos se deben a los telescopios espaciales. Estos son sistemas robóticos semi-autónomos, colocados en órbita alrededor de la Tierra a distancias suficientemente grandes como para eliminar los efectos limitantes de la atmósfera. Estos efectos son: 1) la turbulencia atmosférica, la cual degrada enormemente la resolución espacial, impidiendo así ver muchos de los detalles en las imágenes; y 2) la opacidad a radiación en longitudes de onda del ultravioleta lejano, rayos-X y rayos- γ que hace imposible observar el cosmos desde la superficie terrestre en estas longitudes de onda.

Entre los ejemplos de los descubrimientos más impactantes se destacan los discos protoplanetarios en la Nebulosa de Orión, en donde se pudo comprobar la teoría que predice la forma en que nacen las estrellas de baja masa acompañados de sus sistemas planetarios. También, se detectaron por primera vez una multitud de objetos que emiten enormes cantidades de rayos-X y rayos- γ , delatando la presencia de fenómenos de aceleración de material a velocidades imposibles de alcanzar en la Tierra, salvo quizás en los aceleradores más potentes. Estos fenómenos se asocian a la presencia de estrellas de neutrones y hoyos negros, objetos predichos teóricamente pero que tuvieron que esperar a los observatorios espaciales a ser detectados. Cabe también destacar que el Sol también es una fuente de rayos-X y de luz ultravioleta, radiación que se origina en las zonas externas (llamadas *cromósfera* y *corona*). El poder observar la actividad solar en estas longitudes de onda ha permitido conocer mejor los efectos de la interacción del viento solar con el campo magnético de la Tierra.

Los telescopios espaciales se han apuntado también hacia nuestro propio planeta, La Tierra. Por ejemplo, una de las últimas generaciones de observatorios en órbita (llamado *GOES-16*) puede obtener una imagen de alta resolución espacial de todo el hemisferio terrestre cada 15 minutos en 16 bandas de energía. Esto permite trazar con gran detalle los movimientos y temperaturas de nubes y predecir los estados del clima a corto plazo.

En este capítulo presentamos una introducción al tema de la exploración del espacio. Esta incluye datos fríos y descripciones de la tecnología. Sin embargo, también mencionamos algunos de los principios básicos que deben regir todos los aspectos de esta empresa basándonos en algunos ejemplos históricos.

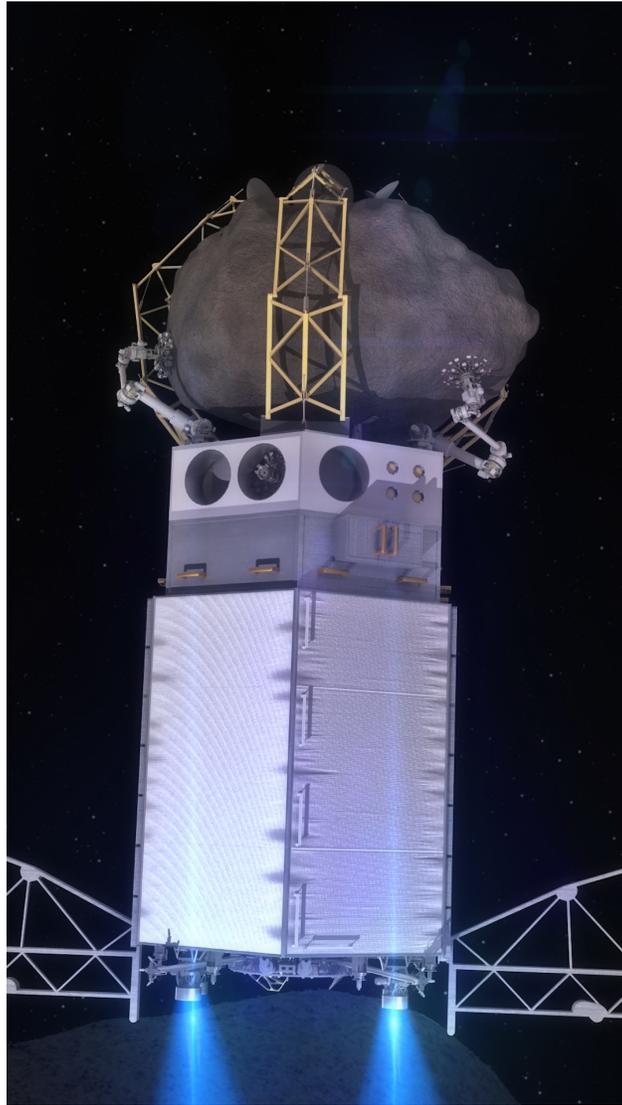


Fig. 1.— Concepción artística de la captura de un asteroide para poderle extraer metales y otros elementos y compuesto, o bien desviarlo de una órbita que lo podría llevar a colisionar con la Tierra.

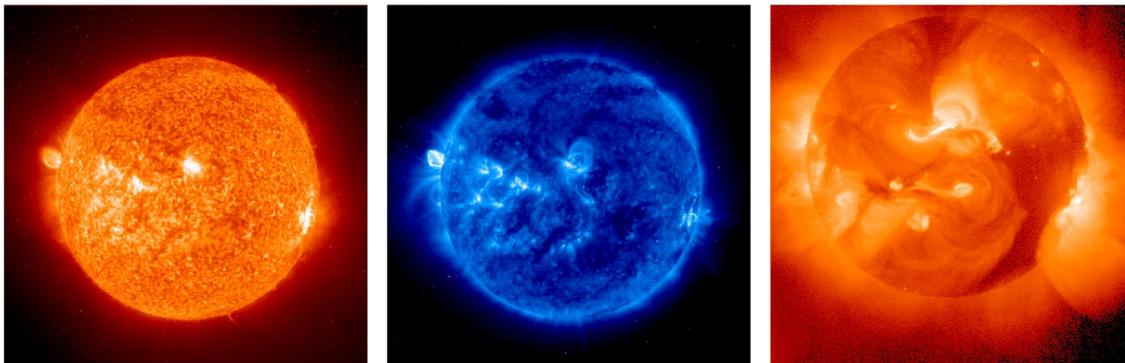


Fig. 2.— Imágenes del Sol captadas en tres longitudes de onda: 304 Å, 171 Å, y en rayos-X. Los flujos en las diferentes energías son producidos por distintos procesos físicos. Por ejemplo, los rayos-X se deben a la aceleración de partículas en la región de la Corona solar, razón por la cual esta emisión aparece tan lejos de la superficie del astro. Créditos: *NASA*. Ver <https://stereo.gsfc.nasa.gov/classroom/EUVsun.shtml> para una explicación de los procesos visibles en este tipo de imágenes.

2. Porqué explorar el cosmos?

Hay al menos cuatro razones que han motivado la exploración espacial y que la siguen motivando, hoy mas que nunca.

2.1. El conocimiento por el conocimiento mismo

La primera y mas fundamental de todas es la necesidad que ha impulsado al ser humano a siempre ampliar las fronteras de su conocimiento y explorar lo desconocido. Aunque en gran medida esta necesidad encuentra su origen en la lucha por la sobrevivencia, una parte de ella nace simplemente de la curiosidad por saber qué es lo que yace mas allá del territorio conocido. Esta es la búsqueda del conocimiento por el conocimiento mismo, y generalmente se refiere a la investigación que se efectúa en temas que no parecieran tener una aplicación “útil” para la sociedad contemporánea. Es importante remarcar, sin embargo, que un gran número de los avances tecnológicos que definen al inicio del Siglo 21 son resultado de la investigación efectuada en temas a los que no se les veía en su tiempo ninguna utilidad práctica.

2.2. Seguridad Nacional

Un segundo objetivo de la exploración espacial es la seguridad nacional. Observar a la Tierra desde arriba de su atmósfera proporciona una vista panorámica de los estados meteorológicos, movimientos de vehículos, incendios, entre otros. Además, existen redes de satélites que permiten el uso eficiente de los *GPS (Global Positioning Sensors)* y satélites con detectores para la radiación infrarroja que permiten identificar la ubicación de seres humanos, manadas de animales, fallas geológicas, rupturas en gasoductos y oleoductos. No es coincidencia que los programas espaciales mas avanzados pertenecen a los países que poseen las potencias militares mas poderosas del mundo.

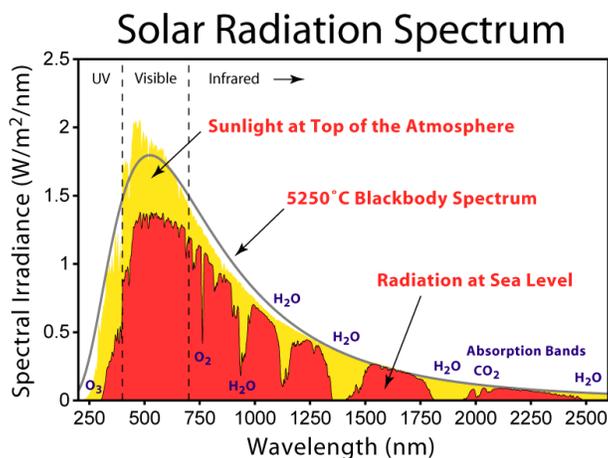


Fig. 3.— Distribución espectral de la radiación del Sol que llega a la distancia de la órbita de la Tierra (en amarillo) y la que logra propagarse por la atmósfera de la Tierra y llegar a la superficie (en rojo). Nótese que la cantidad de energía que llega a la superficie terrestre en la región ultravioleta del espectro es casi nula, así como en las bandas moleculares de H_2O y CO_2 . Es de notarse también que estas bandas moleculares son responsables, en gran medida, del efecto “invernadero” que mantiene a la superficie terrestre mas caliente de lo que sería si no tuviera una atmósfera con esta composición molecular.

2.3. Intereses comerciales

Un tercer objetivo es úno de interés comercial. La industria de las telecomunicaciones, fue de las primeras en ver los grandes beneficios de poseer satélites en órbita alrededor de la Tierra. Con los grandes avances tecnológicos, se prevee la explotación de cuerpos rocosos de nuestro sistema solar (asteroides, lunas, planetas) de los cuales se podrán extraer diversos

minerales y metales. Se destacan entre éstos los elementos llamados “tierras raras”, varios de los cuales son requisitos indispensables para el funcionamiento de los teléfonos celulares, las memorias de las computadoras, las baterías recargables y los aparatos de diagnóstico médico, entre otros. En la Tierra, estos elementos se encuentran en lugares muy limitados (principalmente en Rusia, China y EUA) y cada vez son mas escasos. Por ello, la posibilidad de extraerlos en cantidades mas abundantes de los cuerpos rocosos de nuestro sistema solar le ha dado un gran impulso a lo que ahora se llama *minería espacial*.

Nótese que el costo de los artefactos que son enviados al espacio es una fracción ínfima de la inversión que se hace en su fabricación. Es decir, la mayoría de los millones de dólares que cuesta una misión espacial se queda en la Tierra y le da un gran impulso al sector aeroespacial así como al desarrollo de nuevos materiales, computadoras, componentes electrónicas, y mucho mas.

2.4. Sobrevivencia de la humanidad

La cuarta razón para invertir en el desarrollo de la tecnología espacial es la sobrevivencia de la humanidad. Hay varios niveles de importancia de este rubro, pero destaquemos ahora el riesgo que implicaría la caída de otro objeto celeste a la Tierra, como el que la impactó hace aproximadamente 69 millones de años, noindent evento que ocasionó la extinción de los dinosaurios, entre muchas otras especies. Se sabe que el impacto ocurrió en el Golfo de México (el cráter que dejó se llama Chicxulub³ Existen hoy en día un número importante de observatorios dedicados a la detección y al monitoreo de los cuerpos celestes (en su mayoría asteroides) cuyas órbitas podrían representar un riesgo para la Tierra. También están en desarrollo tecnologías para contender con uno de estos cuerpos que se comenzara a aproximar demasiado a nuestro planeta. Algunas de estas tecnologías son semejantes a las que se planean para la minería de asteroides.

En otro orden de ideas, hay diseños para enormes estructuras espaciales que podrían ser utilizadas como ciudades en órbita, o bien como un especie de “parasol” para eclipsar una parte de la radiación solar que llega a la Tierra y de esta manera mitigar los efectos nocivos del calentamiento global.

Finalmente, cabe destacar que el Sol ha sido una estrella relativamente pasiva desde hace varios millones de años, lo cual ha repercutido en una relativa estabilidad para las

³Ver, por ejemplo, <http://www.lpi.usra.edu/science/kring/Chicxulub/discovery/> y <http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/geogeneralGAB/Zona%20desplegar/Lecturas/craterchicxulub1.pdf>

condiciones en la Tierra. Si el Sol entrara a una etapa de mucha mas actividad, como la que se observa en otras estrellas similares a nuestro astro, el bombardeo por rayos cósmicos aumentaría apreciablemente lo cual, aunado a una posible inversión del campo magnético terrestre (que nos protege de los rayos cósmicos), tendría resultados catastróficos para la vida en la Tierra. Este tipo de consideraciones, aunadas a las de la evolución geológica de nuestro planeta, llevan a la necesidad de planear la colonización de otros de los posibles *habitat* en nuestro Sistema Solar y mas allá.

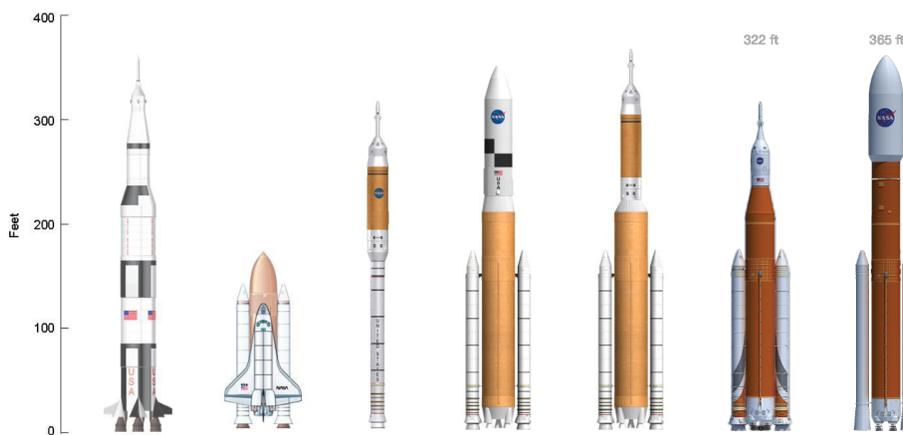


Fig. 4.— Ilustración de varios modelos de cohetes con sus respectivas cargas. De izquierda a derecha: *Saturno V*, *Space Transport System (STS; Shuttle)*, *Ares I*, *Ares V*, *Ares IV*, *Space Launch System (SLS) Block I* y *SLS Block II*. La familia *Ares* nunca se construyó y fue sustituida mas bien por la familia *SLS*. El *Saturno V* se lanzaba con unicamente combustible líquido. Los cohetes modernos de gran potencia utilizan, además, combustible sólido (los tubos blancos que se encuentran fijados a los costados del tanque de combustible líquido, éste último contenido en los cilindros rojos-anaranjados mostrados en la figura). Dibujo obtenido de <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=48782478>.

3. Categorías de vehículos espaciales

Se pueden catalogar los vehículos espaciales dentro de dos grandes rubros: 1) el vehículo que contiene el equipo, los instrumentos y la tripulación, los cuales están siendo enviados al espacio para desarrollar alguna o algunas misiones específicas, comunmente llamado *carga útil*; y 2) el vehículo que sirve para llevar la carga útil desde la superficie terrestre hasta su destino, llamado *cohetes* o *lanzador*.

3.1. Cohetes/lanzadores

Todos los lanzadores se basan en el diseño original de los cohetes alemanes de los años 1940s, cuyo objetivo era portar explosivos como carga útil, con fines bélicos. Las variaciones de este diseño han surgido gracias al desarrollo de mejores y mas eficientes combustibles, incluyendo los combustibles sólidos.

El tipo de lanzador depende del peso que éste deberá llevar a órbita y la distancia que deberá recorrer. Las cargas mas pesadas o las que han sido transportadas mas lejos han requerido de los lanzadores mas poderosos. Historicamente, el mas poderoso jamás construido fue el *Saturno-V*, utilizado para encaminar a las naves *Apollo* con sus tres tripulantes hacia la Luna en los años 1960's y 1970s. Hoy en día, tanto EUA como Rusia y China tienen en desarrollo lanzadores modernos con una potencia que se asemeja a la de los *Saturno-V*.

La Tabla⁴ 1 muestra una recopilación parcial de las familias de cohetes/lanzadores que han sido desarrollados por los mas de 15 países que han invertido esfuerzo y recursos en programas espaciales y que siguen activos. Las columnas 3-5 indican el peso que el cohete puede llevar hasta: *LEO*=*low earth orbit*, una órbita baja, aproximadamente 500 km; *GTO*: *Geostationary transfer orbit*, una órbita excéntrica con apogeo a una distancia de ~42000 km de la Tierra; y *TLI*: *trans lunar injection*, lo cual implica que la primera etapa del cohete lleva primero al vehículo a una orbita alrededor de la Tierra desde donde se encienden los cohetes de una segunda etapa del cohete que eleva al vehículo a una órbita excéntrica con apogeo a la distancia de la Luna. La columna 6 lista el costo (en millones de USD). La columna 7 indica el número de veces que un cohete de ese modelo que ha sido lanzado y la 8 los lanzamientos que fueron exitosos. La tabla se enfoca primariamente a los lanzadores aún activos en 2014 e indica el año en que se llevó a cabo su primer lanzamiento. Hemos añadido 3 modelos muy exitosos que ya han sido descontinuados, en cual caso se lista también el año del último lanzamiento. El anexo contiene una tabla similar mas completa, que incluye muchas de las familias ya descontinuadas.

3.2. Carga útil: tipos de aplicaciones

Las Tablas 2 y 3 listan la clase de objetivo al que pertenecen los satélites y sondas que han sido lanzados desde 1944. Se puede observar que el porcentaje mas alto de las misiones corresponden a los rubros de Seguridad Nacional y de Intereses Comerciales.

⁴Datos tomados de https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_orbital_launchers_families

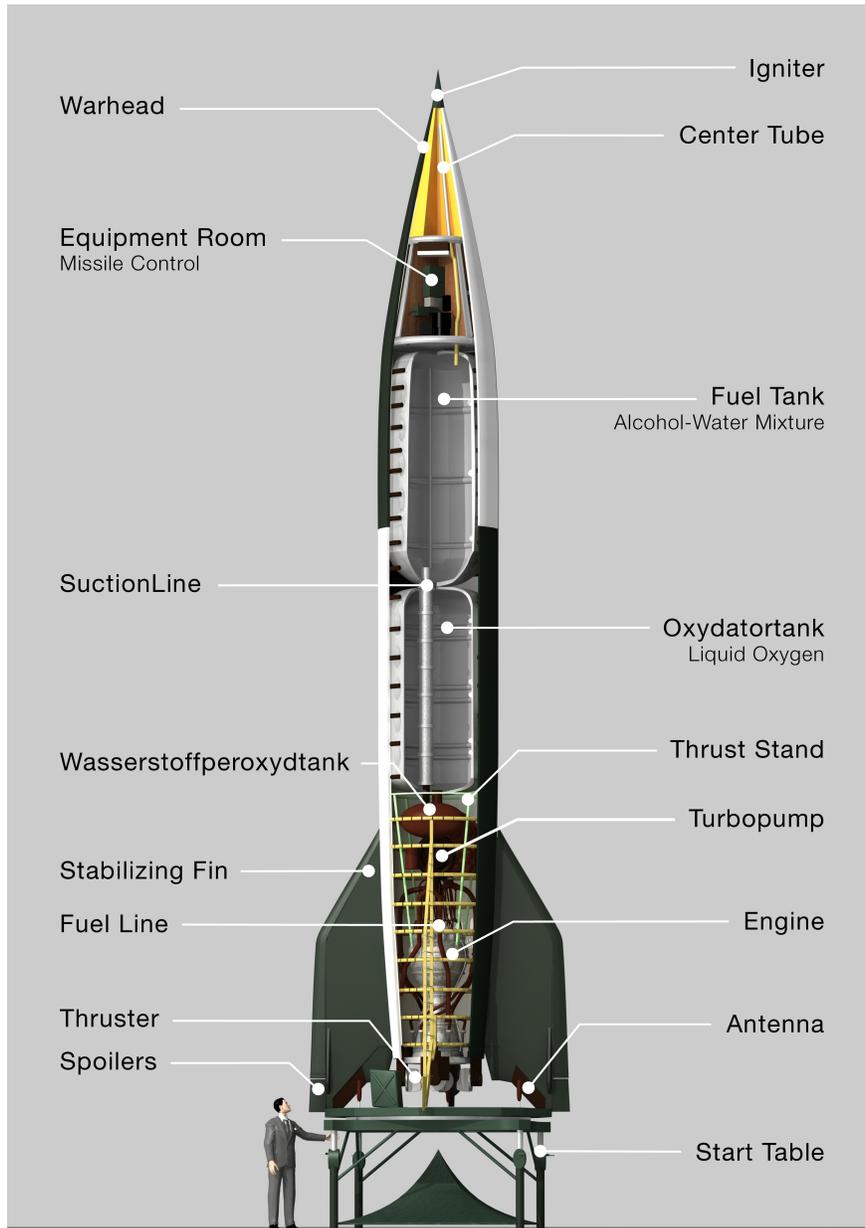


Fig. 5.— Dibujo del cohete que fue diseñado por los alemanes durante la Segunda Guerra Mundial y que sirvió de base para todos los diseños posteriores de cohetes.

3.3. Satélites astronómicos

Los primeros vehículos portadores de equipo astronómico se lanzaron en los años 1960's. Inicialmente eran detectores de luz y partículas muy primitivos, pero con el avance tecnológico, fueron convirtiéndose en verdaderos observatorios. Es decir, estaban dotados de

Table 1: Familias de cohetes (selección)

Familia	País	Carga Máxima			Costo M-USD	Num Total	Num Exitos	Año 1 ^{ero} –
		LEO	GTO	TLI				
Angara A3,A5	Russia	35000	12500	—	na	1	1	2014 -
Ariane 5	Europe	21000	9600	—	220	76	74	2002 -
Atlas V	USA	18850	8900	2807	na	30	30	2002 -
Delta IV	USA	23040	13130	9000	na	18	18	2002 -
Falcon 1&1e	USA	420	—	—	7.9	5	4	2006 -
Falcon 9	USA	13150	4850	—	61.2	22	21	2010 -
H-II, IIA&IIB	Japan	19000	8000	—	na	28	26	1994 -
Long March 2-3-4	China	12000	5500	3300	na	167	158	1971 -
Minotaur IV&V	USA	1735	640	447	50	4	4	2010 -
Naro	S. Korea	100	—	—	na	3	2	2009 -
Pegasus	USA	450	—	—	56.3	42	37	1990 -
UR-500 Proton	USSR	23000	6920	5680	na	399	353	1965 -
PSLV	India	3800	1300	—	na	34	32	1993 -
UR-100N	Russia	2100	—	—		25	23	1994 -
Safir	Iran	50	—	—	na	6	4	2007 -
Shavit	Israel	225	—	—	15	9	7	1988 -
R-7 Soyuz	USSR	5500	2400	1200	na	1849		1957
Taurus	USA	1450	—	—	na	9	9	1989 -
R-36 Tsyklon	USSR	4100	—	—	na	259	–	1967 -
Unha	N. Korea	100	—	—	na	3	1	2006 -
VLS-1	Brazil	380	—	—	na	2	0	1997 -
Zenit	USSR	13740	6160	4098	na	82	71	1985 -
Ariane 6*	Europe	—	10500	—	115	–		2020 -
Falcon Heavy	USA	53000	21200	—	80-125	0		–
GSLV Mk.III	India	8000	4000	—	na	1	1	2014 -
Saturn V	USA	118000	—	47000	185	13	13	1967 - 1973
Space Shuttle	USA	24400	3810	—	450	135	134	1981 - 2011
Titan I-II-III-IV	USA	21900	5773	8600	350	369	–	1959 - 2005

Esta tabla lista una selección de las familias de cohetes por país, carga, costo, número de lanzamientos y año de primer-último lanzamiento.

un telescopio, detectores avanzados (por ejemplo, CCDs de 2048-2048 pixeles o mas), sistemas de posicionamiento y guiado, computadoras de abordo capaces de almacenar grandes volúmenes de información, y sistemas de telecomunicaciones de banda ancha capaces de transmitir estos datos a la Tierra.

Los tres observatorios astronómicos espaciales mas complejos y, que mayor impacto científico tuvieron hasta principios del Siglo 21 fueron: 1) el *Hubble Space Telescope (HST)*, 2) el *CHANDRA X-ray Observatory*, y 3) el *SWIFT gamma Ray Observatory*. En conjunto,

Table 2: Objetivos de las cargas útil

Aplicación	A partir de Año
Militares (armamentos, misiles)	1944
Investigación Científica	1947
Vigilancia y espionaje	~1960
Telecomunicaciones	1958
Vuelos tripulados por humanos	1961
Navegación (GPS)	1978
Ensamblaje de estaciones espaciales (ISS)	1998
Turismo	2001
Minería de asteroides	2020

Table 3: Uso de los 6581 satélites/sondas lanzados hasta 2007

Comunicaciones	1814	27.6	militar y civil
Monitoréo, Espionaje	1775	27.0	militar
Navegación, servicios	547	8.3	militar
Investigación y desarrollo	540	8.2	militar
Programa tripulado humano	507	7.7	civil:
Investigación y desarrollo	365	5.6	civil
Estudio Tierra y Espacio	351	5.5	civil
Percepción remota Tierra	345	5.2	civil
Sistema Solar y Universo	323	4.9	civil

estos observatorios tenían la capacidad de efectuar observaciones en longitudes de onda que van desde los Rayos- γ hasta el infrarrojo lejano.

El *HST* fue colocado en órbita por el único modelo de nave espacial que ha tenido características totalmente distintas a los vehículos que han portado cargas útiles al espacio; es decir, fue colocado por el *STS-Space Transport System (Shuttle)=Transbordador Espacial*, el primer (y único hasta recientemente que el *Falcon 9* ha logrado aterrizar) vehículo espacial re-utilizable.

Las vidas del *HST* y del *Transbordador Espacial* estuvieron estrechamente ligadas desde que fue diseñado el *HST* y hasta la preparación para su destrucción, que ocurrirá al re-ingresar de manera controlada por la atmósfera terrestre y quemarse.

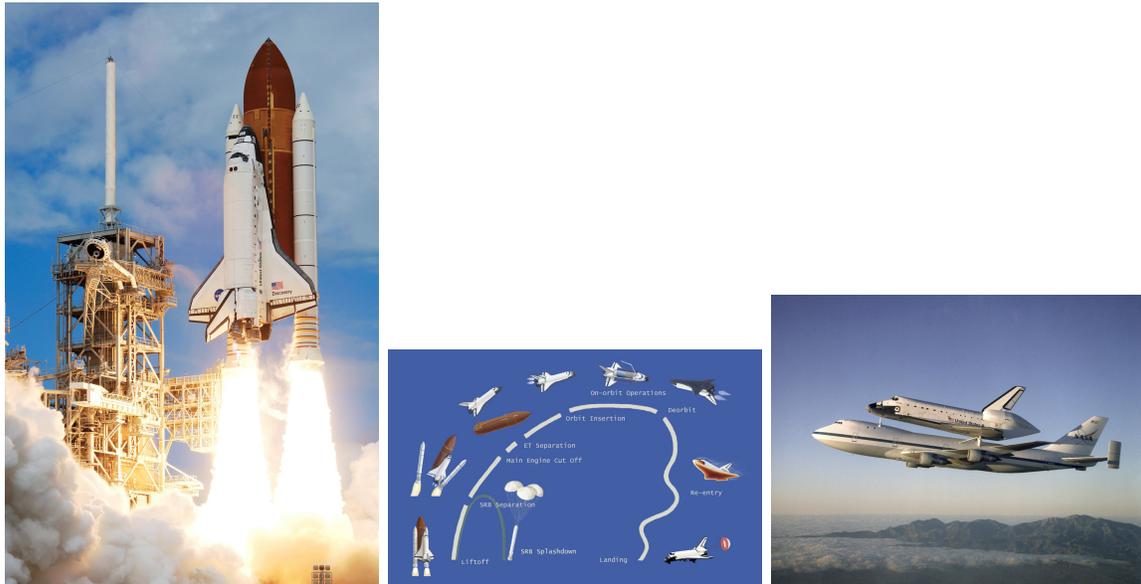


Fig. 6.— **Izquierda:** Lanzamiento número 120 de uno de los 5 Transbordadores Espaciales (Challenger, Columbia, Atlantis, Endeavour, Discovery). **Centro:** Diagrama que muestra las maniobras efectuadas, desde despegue hasta aterrizaje. **Derecha** El *Transbordador Atlantis* siendo transportado sobre un avión Boeing 747 que fue especialmente adaptado para llevar a cabo esta tarea.

4. Viajar al espacio es muy riesgoso

La Era Espacial inició oficialmente a finales de 1957 cuando la Unión Soviética lanzó al Espacio el primer satélite artificial de la humanidad, llamado *Sputnik I*. A partir de entonces y hasta la fecha, se han lanzado miles de artefactos, satélites y sondas al espacio. Cabe destacarse que el trabajo previo que condujo a la posibilidad de lanzar vehículos mas allá de la atmósfera terrestre, inició en los años 1900's con el trabajo teórico de Konstantin Tsiokovsky (1903) y Hermann Oberth (1922), seguido de los lanzamientos de cohetes impulsados por combustible líquido de Goddard (1926) y continuó en los años 1940s con los avances logrados principalmente por científicos e ingenieros alemanes, durante la Segunda Guerra Mundial. De hecho, Alemania estuvo a punto de tener misiles, con los cuales muy probablemente habría ganado la guerra. Con la derrota de Alemania, sus científicos e ingenieros fueron repartidos entre los EUA y la entonces URSS, dándole un gran auge a sus programas espaciales respectivos.

En esta sección nos enfocaremos en forma muy resumida al tema del riesgo que conlleva un viaje al espacio.

Table 4: Datos históricos

Año	Suceso
1903	Trabajo Teórico de K. Tsiokovsky
1922	Trabajo Teórico de H. Oberth
1926	Experimentos con combustibles líquidos de Goddard
1930-40s	Desarrollo de los cohetes V2 Alemanes; WWII; W. von Braun
1950-60s	Desarrollo tecnología espacial S. Korolev
1957	URSS lanza el Sputnik I y lo coloca en órbita
1961	EUA lanza al espacio a Shephard
1961	URSS lanza al espacio a Y. Gagarin (1 órbita)
1962	Primer hombre que orbita la Tierra, J. Glenn
1963	Primera mujer en el espacio: Valentina Tereshkova
1967	Primeros 2 hombres en pisar la Luna (Apollo 11): Neil Armstrong y Buzz Aldrin
1967	Primer deceso de un humano durante un vuelo espacial: V. Komarov
1972	Últimos 2 hombres en pisar la Luna (Apollo 17): E. Cernan y H. Schmitt
1981	Primer vuelo espacial de un vehículo re-utilizable: Space Shuttle Columbia (EUA)
1986-96	Ensamblaje de la primera estación espacial (MIR) URSS
1998	Inicia el ensamblaje de la Estación Espacial Internacional países
2010	Primer vuelo espacial operado por una empresa comercial (Falcon9/SpaceX)
2015	Primer aterrizaje vertical de un cohete (1ª etapa del Falcon 9)

4.1. Viajes tripulados

El *Sputnik I* fue seguido poco después por el *Sputnik II* que llevó al Espacio a Laika, canino que se convirtió así en la primera tripulante terrícola en ser puesta en órbita alrededor de la Tierra y, lamentablemente, también fue la primera en morir ahí. La causa de muerte fue sobre-calentamiento de la cápsula en la que viajaba, pero esta falla simplemente precipitó un desenlace esperado: El regreso a la Tierra de Laika no estaba contemplado en los planes de vuelo ya que la tecnología necesaria para traer a un tripulante de regreso no se había aun desarrollado.

La justificación que se utilizó para haber lanzado al espacio un ser vivo en estas condiciones fue que en aquella época había dudas sobre la sobrevivencia de seres vivos en las condiciones de microgravedad, así como las condiciones de muy alta gravedad durante el despegue. Sin embargo, se cree que Laika falleció poco después del lanzamiento dado que es entonces que ocurrió la falla que llevó al sobrecalentamiento de la cápsula. Esta información se mantuvo oculta hasta muchos años después. De hecho, fue hasta 1998 (después del colapso de régimen Soviético) que uno de los científicos responsables, Oleg Gzenko, expresó su remordimiento por haber permitido el sacrificio, además de que por su muerte prematura no hubo respuestas a las preguntas sobre los efectos de la microgravedad sobre la vida.

Table 5: Las primeras misiones espaciales tripuladas de USA

Año	Tripulante	Sobrevivió?	Comentario
1947	moscas	sí	cohete V-2; descenso c/ paracaídas de cápsula
1948	simio (Albert I)	(no)	anestesiado; falla del cohete al despegar
1949	simio (2; Albert II y IV)	no	falla de paracaídas en descenso
1950	ratón	no	falla de paracaídas en descenso
1951	simio+11 ratones	sí	Yorick
1952	2 simios+ 2 ratones	sí	misma misión
1958	ratón (3)	no	3 misiones distintas del Programa MIA
1958	simio (Gordo)	no	falla del paracaídas
1959	2 simios (Able & Baker)	sí	1 falleció posteriormente en la cirugía para retirar sensores
1959	4 ratones	(no)	se comieron material tóxico antes del despegue
1959	4 ratones	no	explotó el cohete
1959	Simio (SAM)	sí	vivió muchos años después
1960	Simio (Miss-SAM)	sí	vivió muchos años después
1961	Simio (HAM)	sí	vivió muchos años después
1961	Simio (Goliath)	no	
1961	Simio	sí	orbitó la Tierra; misión abortada a la 2a órbita
1961	Alan Shephard	sí	Mercury-Redstone 3
1961	Gus Grissom	sí	Mercury-Redstone 4; escotilla voló en amarizaje
1962	John Glenn	sí	orbitó la Tierra; Mercury-Redstone 4
1963	Gordon Cooper	sí	mercury-Atlas 9
1966	Geminis 8-12	sí	5 misiones (10 humanos)
1967	Apollo 1	(no)	enero: 3 humanos fallecen durante pruebas en tierra
SUBTOT	hasta 1967		20/55~36% probabilidad de muerte
1968	Apollo 7-8	sí	2 misiones (6 humanos)
1969	simio	(sí)	regreso después de 9 días en órbita con signos vitales deteriorantes; murió 8 hrs después de su retorno por deshidratación
1969	Apollo 9-12	sí	4 misiones (12 humanos)
1970	Apollo 13	(sí)	falla de sistemas camino a la Luna
1971	Apollo 14,15,16,17	sí	4 misiones (12 humanos)
1982	STS3-5	sí	3 misiones (~15 humanos)
1983	STS6-9	sí	3 misiones (~15 humanos)
TOTAL			19/116 vidas;~16% prob. de muerte

A partir de la década de los 1960, los Soviéticos tuvieron varios éxitos con su programa espacial bajo el mando de Sergey Korolev, quien se considera uno de los grandes pioneros

Table 6: Las primeras misiones espaciales tripuladas de la USSR y otros países

Año	Tripulante	Sobrevivió?	Comentario
1951-2	9 caninas	??	3 de ellas volaron 2 veces
1951	2 canino	sí	sub-orbital (Dezik&Tsyam)
1951	2 canina	no	Dezik & Lisa
1951	2 canina	sí	Smelaya & Malyshka
1951	2 canina	no	sin nombre
1951	2 canina	sí	Bubik & Zib
1951	2 canina	sí	sub-orbital
1957	canina (Laika)	no	sobre-calentamiento; poco después del despegue viaje programado sin retorno
1959	canina (Otvazhnaya)	sí	5 vuelos sub-orbitales
1960	2 caninas	no	Bars & Lisichka
1960	2 caninas	sí	18 órbitas
1960	2 caninas	no	Pchelka & Mushka
1960	2 caninas	(sí)	lanzamiento falló pero ambas fueron rescatadas vivas
1960	126 humanos	(no)	R-16 ICBM explota en Baikonur durante preparativos de lanzamiento
1961	2 caninas	sí	Chernushka
1961	1 canina	sí	Zvevdoshka
1961	Yuri Gagarin	sí	Vostok 1; 1 órbita
1963	Valentina Tereshkova	sí	
1966	2 caninas	sí	22 días en órbita
1967	Vladimir Komarov	no	fallas en paneles solares, estabilidad, paracaídas
TOTAL	hasta 1967		sin contar explosión de 1960 10/30; ~33% muerte sin contar explosión de 1960
	Francia		
1963	gato	sí	
1963	gato	no	recuperación tard'ia de la cápsula
	Argentina		
1967	rata	sí	cohete Yarará
1969	simio	sí	cohete Canopus II
1970	simio	no	falla del paracaídas

de la Era Espacial. Él guió el programa de vuelos tripulados hasta su muerte en 1966 por causa del cancer. Lamentablemente, su sucesor, Vasily Mishin cometió algunos de los errores mas graves en la historia de los vuelos espaciales tripulados, todos ellos debido a

que antepuso criterios políticos a los criterios científicos. Específicamente, cedió ante las presiones políticas de "ganarle" a EUA a llegar a la Luna, y ordenó lanzar a un cosmonauta, Vladimir Komarov, en el *Soyuz-1*, nave que se sabía tenía fallas de diseño. Aparentemente, los ingenieros trabajando sobre esta nave habían reportado mas de 200 problemas no-resueltos. Sin embargo, Komarov fue lanzado al espacio. Poco después se anunció que su nave había caído a la Tierra y que había muerto. También fracasaron cuatro intentos posteriores de lanzar cohetes diseñados para ir a la Luna (éstos sí, sin tripulación). Posteriormente, en 1971, fue puesta en órbita la primera estación espacial, llamada Salyut-1. Según cuentan las historias, para poder enviar 3 hombres en esta misión en vez de los 2 para los cuales la nave estaba diseñada, Mishin los envió sin sus trajes presurizados (para ahorrar peso). Esto tuvo consecuencias fatales ya que en el reingreso la cápsula en la que viajaban se despresurizó y Georgy Dobrovolsky, Vladislav Volkov, and Viktor Patsayev perecieron.

Las historias de arriba son destacables por varias razones. La primera cae en el ámbito de la valoración de la vida ante las necesidades impuestas por la investigación científica, en este caso, la exploración por humanos del espacio cósmico. La segunda es que se muestra que el precipitar intentar obtener un resultado, saltándose pasos intermedios, tiende a tener consecuencias catastróficas. La tercera muestra que cuando los criterios políticos se inmiscuyen y llegan a dominar en los procesos de desarrollo científico, la probabilidad de fracaso es grande.

Una razón por la que errores como los descritos arriba pudieron ocurrir es que en la URSS los esfuerzos asociados a proyectos espaciales se desarrollaban bajo distintas estructuras administrativas (la mayoría militares), y había poca coordinación entre ellas. No fue hasta 1974 que se creó una sola agencia para vuelos espaciales, *NGO Energia*, que ahora se conoce como *S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia*.

En EUA, se consolidó el esfuerzo espacial desde un inicio en una sola agencia llamada *National Aeronautic and Space Administration (NASA)*. Los tres primeros objetivos decretados⁵ para esta agencia, son: 1) La expansión del conocimiento científico sobre los fenómenos de la atmósfera y del Espacio; 2) La mejoría en la utilidad, funcionamiento, velocidad, seguridad y eficiencia de los vehículos aeronáuticos y espaciales; y 3) El desarrollo y la operación de vehículos con la capacidad de transportar instrumentos, equipo, provisiones y organismos vivos por el Espacio.

⁵National Aeronautics and Space Act of 1958, Public Law #85-568, 72 Stat., 426. Firmado por el Presidente el 29 de julio de 1958, Record Group 255, National Archives and Records Administration, Washington, D.C; disponible en: NASA Historical Reference Collection, History Office, NASA Headquarters, Washington, D.C.

Los proyectos espaciales tripulados de la *NASA* no estuvieron libres de fatalidades humanas, pero el primer desastre no ocurrió durante un viaje espacial, sino en la fase de preparativos. El *Apollo-1* sufrió un corto circuito en su interior, cuando estaban los 3 astronautas efectuando pruebas con la compuerta de la cabina cerrada. El ambiente, que en esa época era casi puro oxígeno, propició que el incendio se propagara velozmente, calcinando a los 3 astronautas.

El desastre del *Shuttle Challenger* se presentó cuando falló uno de los sellos de hule de uno de los cilindros de combustible sólido, provocando una explosión en cadena durante el despegue, matando a los 7 tripulantes.⁶ El último desastre fue el del *Shuttle Columbia* que sufrió una falla en su escudo térmico la cual, al calentarse durante el reingreso a la atmósfera de la Tierra, produjo la desintegración de la nave, matando así a sus 7 tripulantes.⁷

Table 7: Estadísticas 1957–2014 de fallas

Década (Años)	— Pista	La falla Lanzam	es en: Órbita	— Final	Objetivo incumplido	Núm. total	Exitosos	±s.d.
1957-1966	3	146	18	25	39	933	72%	21%
1967-1976	2	101	22	6	24	1567	89%	4%
1977-1986	0	75	20	1	16	1574	92%	3%
1987-1996	0	57	16	0	16	1359	93%	3%
1997-2006	1	74	14	2	26	1159	90%	4%
2007-2011	0	10	1	1	1	629	96%	—
Total	6	463	91	35	122	7221	—	—
Porcentaje	0.8%	65.2%	12.4%	4.8%	16.8%	—	—	—

Número Total: suma de exitosos y fallidos; "pista": antes de ser lanzado; "órbita": la falla ocurre habiendo llegado al espacio; "misión incumplida": no cumple con la misión original por algún problema, aunque el lanzamiento y el aterrizaje hayan sido exitosos; "final": falla en reingreso, aterrizaje, recuperación. Tabla basada en datos de Claude LaFleur, Space Encyclopedia.

⁶Francis "Dick" Scobee, Michael Smith, Judith Resnik, Ellison Onizuka, Ronald McNair, Christa McAuliffe y Gregory Jarvis

⁷Rick D. Husband, William C. McCool, Michael P. Anderson, David M. Brown, Kalpana Chawla, Laurel Blair Salton Clark, e Ilan Ramon

4.2. Qué tan riesgoso es viajar al espacio?

Las estadísticas en la Tabla 7 muestran que el riesgo de falla en los vuelos espaciales ha ido disminuyendo conforme pasa el tiempo, lo cual es de esperarse, dado que cada fracaso ha llevado a aprender importantes lecciones de cómo evitar otro igual. Hoy en día, la probabilidad de que una misión sea exitosa es superior al 90%. También se vé que, en términos generales, los viajes tripulados (por humanos) han tenido una tasa de éxito mayor que el promedio. Esto también es natural, dado que se exigen márgenes de riesgo mucho mas pequeños en el caso de este tipo de viajes que cuando la pérdida, en caso de un percance, sea unicamente de un equipo. Evidentemente, estos márgenes de riesgo tan pequeños implican un costo mucho mas elevado de la misión, razón por la cual los viajes tripulados han sido relativamente escasos.

Las cifras actuales contrastan dramaticamente con las de la primera década de los vuelos espaciales, cuando la probabilidad de éxito era no mas que el $\sim 67\%$. Nótese que, cuando Alan Shephard se subió al cohete *Mercury-Redstone* que lo llevaría en un vuelo al espacio en 1961, las dos misiones previas habían fracasado, y en la primera de ellas el simio que iba a bordo había perecido. Realmente se requirió mucho valor para emprender un viaje al espacio bajo esas condiciones!

Al paso del tiempo, se han ido desarrollando normas muy estrictas que gobiernan el lanzamiento de naves al espacio, particularmente, normas enfocadas a la seguridad. El análisis de los riesgos es ahora un proceso muy complejo y detallado, pero que en el fondo evalúa y asigna probabilidades de riesgo a las tres preguntas siguientes: 1) Qué puede fallar? 2) Qué tan probable es que ocurra esta falla? 3) Cuáles son las consecuencias asociadas a esta falla? Este análisis se efectúa pieza-por-pieza de todos los componentes que entran en la fabricación de los cohetes, vehículos espaciales y equipo de abordó.

5. El futuro: un universo de posibilidades

El panorama que se dibuja para el futuro es úno de grandes retos para la supervivencia de la vida como la conocemos pero, al mismo tiempo, de grandes oportunidades para continuar con los procesos de evolución y adaptación que la han caracterizado desde el inicio de los tiempos en la Tierra. El futuro ofrece aventuras y recompensas que apenas ahora podemos comenzar a vislumbrar. Entre ellas se encuentra, como tesoro inigualable, la esperanza de un futuro mejor, ya sea en la Tierra misma o en algún otro habitat. Tesoros mas tangibles que nos esperan en el Espacio incluyen las materias primas que se podrán extraer de asteroides y demás cuerpos de nuestro sistema solar, nuevos compuestos orgánicos y, quizás, hasta nuevas

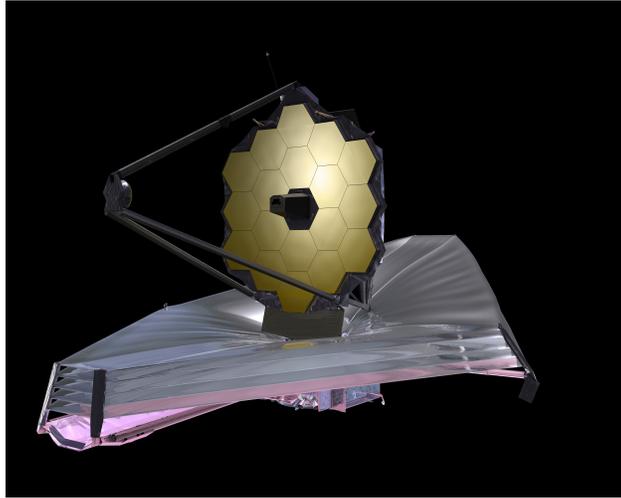


Fig. 7.— Representación del Telescopio *JWST* en su configuración final, cuando comience a operar a finales de esta década.

formas de vida. Todo ello irá acompañado de e impulsado por un crecimiento explosivo del conocimiento y del desarrollo tecnológico.

Los avances desde la década de los 1960s han sido realmente espectaculares, pero los siguientes lo serán aún mas. En EUA y Europa han comenzado a surgir empresas del sector privado las cuales trabajan conjuntamente con la *NASA* y la *European Space Agency (ESA)* en el desarrollo y, desde hace ya un par de años, la operación de misiones espaciales. Por ejemplo, la empresa *Space-X* ha comenzado a efectuar los viajes de abastacimiento de provisiones a la *Estación Espacial Internacional*, en donde siempre hay astronautas en residencia. Se espero que en fechas próximas, *SpaceX* también comience a efectuar el traslado de los astronautas.⁸ *Space-X* también ha tenido un éxito arrollador en fechas recientes al haber logrado que su cohete *Falcon-9* regrese y aterrice verticalmente en la Tierra. Con ésto, se abre la posibilidad de re-utilizar estos lanzadores, reduciendo el costo y el tiempo entre lanzamientos.

Por otro lado, la *NASA* concretó recientemente el diseño del vehículo espacial *Orión* que se planea llevará a una tripulación de 4 seres humanos a misiones de larga duración y eventualmente a Marte.⁹ Habrá que ver si este plan no se vé modificado por los avances vertiginosos de *SpaceX* y su tecnología para traer de regreso de forma controlada y hacer

⁸Véase <http://www.spacex.com/dragon> y <http://www.spacex.com/falcon9>

⁹Véase <https://www.nasa.gov/exploration/systems/orion/index.html>

aterrizar suavemente (sin uso de paracaídas) sus naves espaciales. Si sigue esta empresa teniendo el éxito que hasta ahora ha tenido, es muy probable que la primera misión a Marte sea desarrollada por ella, utilizando sus naves espaciales. Una vez que haya naves seguras para viajar a Marte, los planes futuros prevén la colonización por seres humanos de este planeta.

Otra de las misiones de gran importancia que se avecinan es el aterrizaje de una nave robótica en la Luna Europa, la segunda luna más masiva de Júpiter.¹⁰ Este cuerpo guarda en su interior un gran secreto que recientemente se ha ido revelando: bajo la capa de hielo superficial que vemos al observarla, esta luna esconde lo que parece ser un océano de agua (H_2O), y no solo agua, pero agua salada. Hay una fuente de calor en el interior rocoso que permite derretir el hielo y mantenerlo en forma líquida. Los cálculos indican que la fuente principal de este calor es la variación en la fuerza gravitacional que sufre debida a la órbita excéntrica de Europa alrededor de Júpiter. Habiendo un océano de agua salada, la probabilidad de encontrar organismos vivos es muy grande.

En lo que se refiere a la exploración del Cosmos a distancias inalcanzables para los seres humanos,¹¹ los avances son también espectaculares. En 2013 fue lanzado el observatorio *Gaia*¹² el cual ha comenzado ya a operar y enviar datos a la Tierra sobre millones y millones de estrellas.

Está previsto que el Telescopio *James Webb* será lanzado en 2018 el cual, al igual que *Gaia*, se colocará en una órbita alrededor del punto *L2 de Lagrange*; es decir, entre la Tierra y el Sol. Se espera que con este telescopio sea posible observar y estudiar los primeros objetos cósmicos que se formaron en nuestro Universo después del “Big Bang”.

¹⁰Véase <https://www.nasa.gov/press-release/all-systems-go-for-nasas-mission-to-jupiter-moon-europa>

¹¹La exploración por seres humanos e inclusive sondas robóticas de nuestra Galaxia y más allá es impensable ahora, a menos de que se pueda violar el principio fundamental de viajar a una velocidad máxima cercana a la de la luz.

¹²<http://sci.esa.int/gaia/>



Fig. 8.— El telescopio espacial *James Webb Space Telescope* será lanzado por un cohete *Ariane* antes de finalizar esta década. El espejo mide $6m$ de diámetro y está constituido por segmentos hexagonales. Para poderlo meter en el módulo de carga es necesario doblarlo, como se ilustra en la figura de la derecha. Una vez en su destino final, iniciará el proceso de des-doblar el espejo, antenas y paneles solares, extender su base protectora de la radiación solar, y echar a andar todos los sistemas para entrar en operación. La configuración final se muestra en la Figura 7.

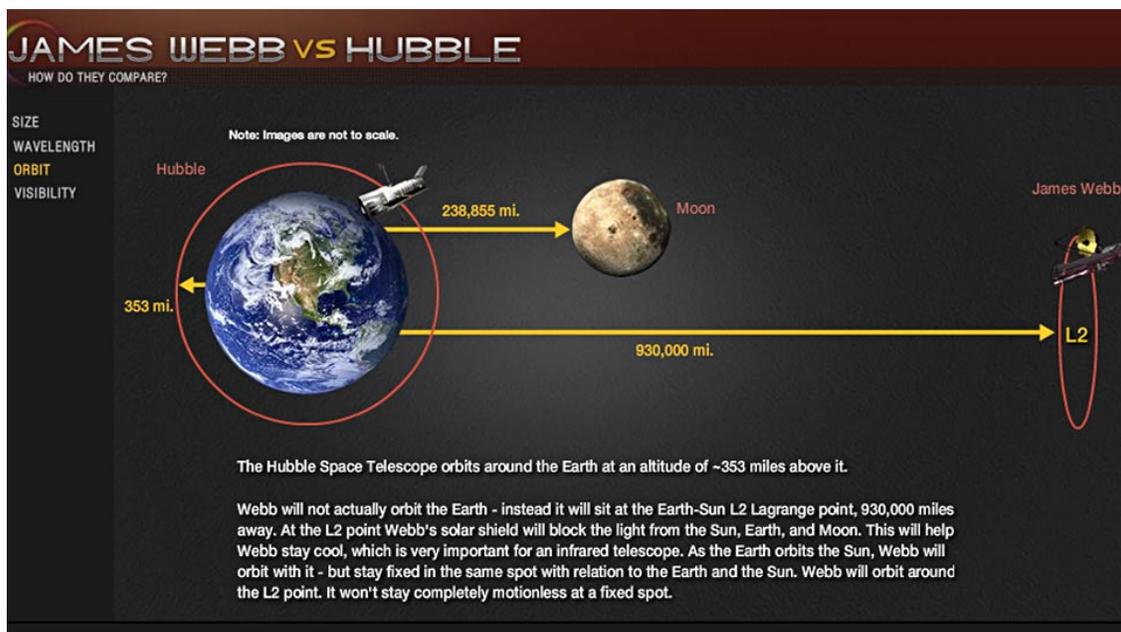


Fig. 9.— El telescopio *James Webb* será colocado en una órbita alrededor del punto de equilibrio L_2 de Lagrange, en el sistema Tierra-Sol. El *JWST* será el segundo observatorio astronómico colocado en esa posición, ya que actualmente se encuentra ahí ya en operación el Telescopio *Gaia*.

6. Referencias

1. “The Vision for Space Exploration”, NASA, February 2004, https://www.nasa.gov/pdf/55583main_vision_space_exploration2.pdf, consultado 16 de abril de 2016
2. Para estadísticas globales consultar: <http://claudelafleur.qc.ca/Spacecrafts-index.html#Countries> y <http://claudelafleur.qc.ca/Spacecrafts-index.html#Table-1>
3. “The Story of Laika”, *moscowanimals.org*, archived from the original on August 16, 2006, retrieved, 26 September 2006
4. “Message from the First Dog in Space Received 45 Years Too Late”, *Dogs in the News*, 3 November 2002, <http://web.archive.org/web/20060108184335/http://www.dogsinthenews.com/issues>, consultado 25 de febrero de 2016.
5. <http://history.nasa.gov/animals.html>; consultado el 25 de febrero 2016
6. *Post-Challenger evaluation of Space Shuttle risk assessment and management*, Committee on Shuttle Criticality Review and Hazard Analysis Audit, Aeronautics and Space Engineering Board, National Academy Press, National Research Council, January 1988, USA
7. *Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners*, M. Stamatelatos & H. Dezfuli, NASA/SP-2011-3421, Second Edition, December 2011, Washington, D.C.

Table 8: Apéndice: Familias de cohetes por país

País	1 ^{er} vuelo	Ultimo	Núm.	Carga	Familia	
Brazil	1997	2003	2/0	380 kg	VLS-1	3 ^{ero} explotó en tierra matando 21
China	1971	—	167/158	3000-12000	Long March 2-3-4	
	—	—	0/0	1500-25000	Long March 5-6-7	
Europa	1979	1989	28	2650	Ariane 1-2-3	
	1988	2003	116	4720-7000	Ariane 4	
	2002	—	76/74	9600-21000	Ariane 5	
	2012	—	5/5	2300	Vega	
	2020	—	—	10500	Ariane 6	
Francia	1965	1975	?	?	Diamant	
India	1993	—	29/28	1300-3800	PSLV	
Iran	2007	—	4/4	50	Safir	
Israel	1988	—	8	225	Shavit	
Japon	1966	1995	27	770	Mu 1 -3-4	Nissan
	1975	1987	15	730-2000	N-I,II	Mitsubishi
	1994	—	28/26	8000-19000	H-II,IIA,IIB	Mitsubishi
	1986	1992	9/9	2300	H-I	Mitsubishi
N.Korea	2006	—	3/1	100	UhHa	
Rumania	—	—			Haas	
Rusia	1994	—	25/23	2100	RU-100N,Rokot	
	2014	—	1/1	14600-12500	Angara A3,A5	
S. Korea	2009	—	3	100	Naro	
UK	1969	1971	4/3	132	Black Arrow	
USA	1957	1959	12/3	23	Vanguard	Martin
	1957	1980	357	1270/-/-/	Thor	Douglas
	1957	1997	514	5900/2340/	Atlas	Lockheed
	1959	2005	369	21900/5773/8600	Titan	Martin-Marietta
	1960	1994	125/104	210/-/-	Scout	USAFNASA
	1960	1989	186	3848/1312/-	Delta	Douglas
	1961	1975	13	18600/-/-	Saturn I	Chrisler/Doublas
	1967	1973	13	118000/-/47000	Saturn V	Boeing/NorthAmerican/Douglas
	1981	2011	135/134	24400/3810/-	STS (Shuttle)	Alliant/Martin-Marietta/Rockwell
	1989	—	9/9	1450/-/-	Taurus	Orbital sciences
	1989	—	151	6000/2171/1508	Delta II	ULA
	1990	—	40	450/-/-	Pegasus	Orbital Sciences
	1991	2004	63	8618/3833/-	Atlas II	Lockheed
	2000	—	11/11	580/-/-	Minotaur I	Orbital Sciences
	2002	—	18/18	23040/13130/9000	Delta IV	ULA
	2002	—	30/30	18850/8900/2807	Atlas V	ULA
	2010	—	22:	13150/4850/-	Falcon 9	Space —
	2010	—	4/4	1735/640/447	Minotaur IV	Orbital Sciences
	2013	—	5	6000/-/-	Antares	Orbital Sciences
	—	—	—	53000/21200/-	Falcon Heavy	SpaceX
	—	—	—	130000/-/-	SLS	Alliant/Lockheed

Table 9: Apéndice: Familias de cohetes por país (*cont.*)

País	1 ^{er} vuelo	Ultimo	Núm.	Carga	Familia
URSS	1967	2010	610	1500	Kosmos
	1969	1972	4/0	90000-23500	N1
	1987	1988	2/2	100000	Energia
USSR/Rus	1957	—	1849	5500/2400/1200	Soyuz
	1965	—	399/353	23000/6900/5680	Proton
USSR/Ukr	1967	2009	259	4100	Tsyklon
USSR/Ukr/ Rus	1985	—	82	13700/6160/4098	Zenit
Ukraina/ Rusia	1999	—	17	3600/ /750	Dnepr LEO/TLI